

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

С.М. СОЛОВЬЕВ

**ФОТОГРАФИРОВАНИЕ
В ИНФРАКРАСНЫХ
ЛУЧАХ**

-ИСКУССТВО-

АННОТАЦИЯ

В книге приводятся основные сведения об инфракрасных лучах, рассматриваются свойства инфрахроматических светочувствительных материалов и их обработка, а также особенности инфракрасного фотографирования.

Приводятся примеры использования инфракрасного фотографирования в различных областях науки и техники.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, занимающихся фотосъемкой, а также научных работников, приступающих к изучению и практическому использованию данной области фотографии.

Отзывы и замечания просьба присылать по адресу: Москва, И-51, Цветной бульвар, 25, издательство «Искусство».

ВВЕДЕНИЕ

Фотографирование в невидимых инфракрасных лучах представляет собой одну из интереснейших и наиболее своеобразных отраслей общей фотографии. Особенности инфракрасного фотографирования являются:

1) отличие отражательной способности объектов при воздействии на них инфракрасных лучей по сравнению с лучами видимыми; это обстоятельство определяет своеобразный характер фотографической передачи многих объектов, например зелени, водной поверхности, некоторых тканей, красок и т. д.;

2) лучшая проникаемость инфракрасных лучей сквозь задымленные и мутные среды, что дает возможность фотографировать удаленные объекты (например, горы, здания) сквозь воздушную дымку, замутненную оболочку роговицы глаза и т. п.

Эти особенности нашли наибольшее применение в научной фотографии, однако они не менее интересны и для любительской съемки. Фотографирование сквозь дымку удаленных пейзажей и цепей гор, получение иллюзии лунного освещения при съемке на ярком солнечном свете, репродуцирование старых фотографий, рисунков и гравюр с одновременным удалением с них загрязнений — все это может служить примером своеобразных любительских съемок в инфракрасных лучах.

Естественно, что инфракрасная фотография вызывает интерес у всех, кто хотя бы поверхностно ознакомился с ее преимуществами. Однако литературы по этому вопросу у нас очень мало. Можно назвать лишь книгу Н. А. Волкова «Фотография в невидимых лучах спектра» (1)*, главное внимание которой уделено изложению

* Здесь и далее цифры в скобках обозначают ссылки на литературу, помещенную в конце книги.

общих вопросов фотографирования в инфракрасных и ультрафиолетовых лучах.

В то же время многие специалисты—врачи, инженеры, геологи, искусствоведы и другие, считая полезным использовать инфракрасную фотографию в своей области, хотят познакомиться со спецификой фотографирования в инфракрасных лучах по сравнению с лучами видимыми и с практическими условиями съемки, экспонирования и обработки инфраматериалов.

Данная работа и ставит своей задачей оказать помощь лицам, уже знакомым с общей фотографией, в их стремлении ознакомиться с практическими требованиями к инфракрасному фотографированию.

ИНФРАКРАСНЫЕ ЛУЧИ

Если пропустить пучок солнечного света сквозь стеклянную призму, то белый свет разложится на свои составляющие цвета, от красного до фиолетового. Опыт показывает, что за красной частью спектра существуют невидимые лучи; они названы инфракрасными. За фиолетовыми лучами видимой части спектра также имеются невидимые, ультрафиолетовые лучи.

Все эти лучи составляют часть обширной шкалы электромагнитных колебаний, распространяющихся далеко в область невидимых излучений в обе стороны от видимого спектра.

Если выразить длину волны электромагнитных колебаний в миллимикронах ($\text{м}\mu$; $1 \text{ м}\mu = 10^{-6} \text{ мм}$), то спектр излучений можно представить в виде таблицы 1.

Таблица показывает, что инфракрасные лучи составляют значительную часть шкалы электромагнитных колебаний, однако та часть ее, которая используется для фотсграфирования и названа «фотографическими инфракрасными лучами», охватывает область лишь ближнего инфракрасного, непосредственно примыкающего к видимой части спектра. Эта область, от 760 до 1350 $\text{м}\mu$ по протяженности пример-

Таблица 1
Шкала электромагнитных колебаний

Название лучей	Длина волны
Космические лучи . . .	От 0,002 мр до 0,005 мр
Гамма-лучи радия . . .	0,05 " " 0,1 "
Рентгеновские лучи . .	1 " " 100 "
Ультрафиолетовые лучи	13,6 " " 390 "
Видимые лучи	390 " " 760 "
Инфракрасные лучи, используемые в фотографии	760 " " 1 350 "
Весь инфракрасный спектр	760 " " 50 000 "
Волны Герца (радиоволны)	1 мм " 50 000 м

но в два раза больше видимого спектра. Практически же в инфракрасной фотографии в большинстве случаев используют не всю шкалу фотографического инфракрасного (т. е. 760 — 1350 мр), а лишь часть ее, непосредственно примыкающую к красной части видимого спектра — от 760 до примерно 850 мр. В этом участке излучений, впрочем, обычно ярко проявляются практически все своеобразные эффекты инфрасъемки.

При инфракрасном фотографировании, естественно, могут быть применены только такие источники света, спектр которых богат инфракрасными лучами и которые доступны для широкого использования. В большинстве случаев практически все источники света, используемые для фотографирования в видимых лучах, вполне пригодны для фотографирования и в лучах инфракрасных.

Так, например, для общей инфракрасной фотографии, медицинской фотографии, документальных съемок, криминалистики, фотографии в темноте и большого числа других отраслей научной фотографии в качестве источника света могут быть использованы солнечный свет, лампы накаливания высокой интенсивности, все типы ламп накаливания для студий, угольные дуги различных типов, лампы-вспышки.

Для инфракрасной кинематографии используются солнечный свет, все виды ламп накаливания и дуговые лампы, обычно применяемые в работе студий.

Для инфракрасной микрофотосъемки используют лампы накаливания, применяемые для микрофотографии в видимых лучах, дуговые лампы с угольными и металлическими электродами.

Остановимся коротко на свойствах главных из этих источников излучений.

Одним из важнейших источников света для инфракрасной фотографии является солнце. О спектральном составе солнечной радиации можно судить по рис. 1, где на оси абсцисс отложены длины волн, а на оси ординат — относительная энергия солнечных лучей. Максимум излучения солнца падает на видимую часть спектра, сильно снижаясь в ультрафиолетовой области и, напротив, весьма замедленно — в сторону инфракрасных лучей. Из всей суммарной радиации, создаваемой прямыми солнечными лучами, на область фотографического инфракрасного (см. рис. 1) приходится около 36%, т. е. немногим более одной трети.

Относительный процент содержания инфракрасных лучей в солнечном спектре несколько повышается при переходе от южных широт к северным, а также с высотой над уровнем моря и сравнительно мало зависит от времени

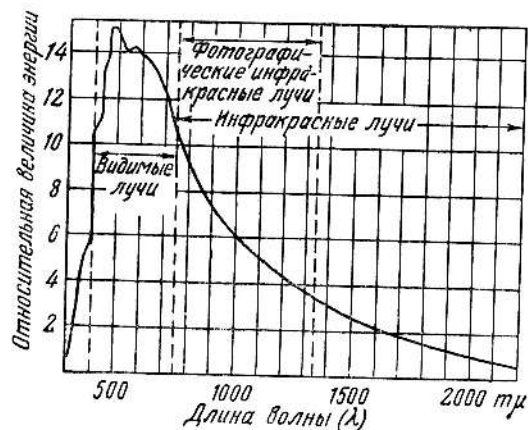


Рис. 1. Распределение энергии в солнечном спектре

года. Содержание инфракрасных лучей, наибольшее при низком положении солнца, несколько уменьшается с возрастанием высоты солнца.

Прямая солнечная радиация, таким образом, является эффективным источником инфракрасных лучей, вполне пригодным для инфракрасного фотографирования.

Однако все соображения, рассмотренные выше, применимы только к прямой солнеч-

ной радиации, падающей на снимаемый объект. В случае присутствия облаков, туманов, дождя и пр., т. е. при наличии не прямой, а рассеянной солнечной радиации, интенсивность инфракрасных лучей сильно падает, вследствие чего в последних условиях необходимо применять большие экспозиции.

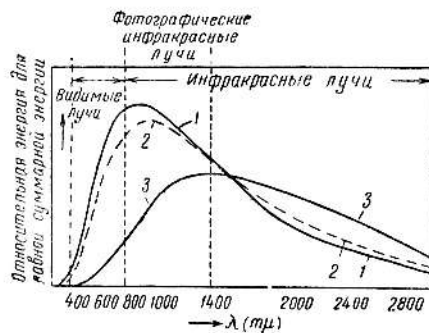


Рис. 2. Распределение энергии электрических ламп:

1 — вольфрамовая лампа 900 в; 2 — вольфрамовая лампа 500 в; 3 — угольная лампа накаливания

В отличие от солнечного света, интенсивность радиации которого зависит от атмосферных условий, времени дня и ночи и т. п., искусственные источники света обладают более постоянными свойствами.

Свет вольфрамовых газонаполненных ламп накаливания, используемых для общего освещения, содержит много инфракрасных лучей. На рис. 2 представлена относительная энергия излучения ламп для приравненных между собой энергий излучения. Энергия вольфрамо-

вых ламп накаливания в 900 и 500 *вт* (кривые 1 и 2) имеет максимум излучения в области фотографического инфракрасного, сильно уменьшаясь к видимой части спектра. Действительно, на излучения в области фотографического инфракрасного падает следующий процент мощности:

для обычной лампы накаливания	в 100 <i>вт</i>	— 36%
»	»	» 500 » — 41%
»	»	» 1000 » — 41%
»	»	» 1500 » — 42%

Приводимые данные показывают, что на область фотографических инфракрасных лучей приходится наибольшая часть энергии, излучаемой лампами накаливания, и что эти лампы являются прекрасными источниками света для инфракрасного фотографирования.

Существует мнение, что угольные лампы накаливания являются источником света, очень богатым инфракрасными лучами и потому особенно удобным для инфрасъемки. На рис. 2 сопоставлены кривые распределения энергии угольной лампы (кривая 3) и двух вольфрамовых ламп накаливания (кривые 1 и 2). Кривые показывают, что угольные лампы накаливания по сравнению с вольфрамовыми богаче длинноволновой инфракрасной радиации, но беднее лучами в области фотографического инфракрасного. Это означает, что интенсивность излучения у вольфрамовых ламп в интересующей нас области значительно выше, чем у угольных. Поэтому при наличии выбора следует предпочесть вольфрамовую лампу, с которой экспозиции при съемке в инфракрасных лучах будут в несколько раз короче, чем с угольной.

Некоторые авторы считают, что угольные лампы накаливания вообще не следует применять для инфракрасного фотографирования.

Опыт показывает, что для инфрафотографии рациональнее использовать не низковольтные лампы с меньшей энергией, а высоковольтные (например, в 500 *вт* и выше), у которых суммарная энергия инфракрасных лучей значительно выше, чем у низковольтных.

Простые угольные дуги и дуги высокой интенсивности испускают свет также весьма богатый инфракрасной радиацией. Так, например, у простой дуги на область между 760 и 1500 *мк* приходится около 56% всей ее энергии. Между дугами различных типов, особенно создающими не простой, а линейчатый спектр, имеются колебания в содержании инфракрасного излучения, однако большинство из них (как, например, дуговые лампы для киностудий) является мощным источником инфракрасной радиации.

В тех случаях, когда осветительное оборудование и подводку установить не удастся (например, при натурных съемках ночью), для инфракрасного фотографирования используют лампы-вспышки. Однократные лампы-вспышки представляют собой стеклянную колбу, наполненную в атмосфере кислорода магниевую-алюминиевую фольгой или проволокой. Зажигание производится от батарейки для карманного фонаря. Лампы многократной вспышки (или газоразрядные, так называемые электронные импульсные лампы) способны давать до 10 000 вспышек, но требуют дополнительного переносного электрооборудования.

Лампы-вспышки и электронные импульсные лампы являются мощными и эффективными источниками света для инфракрасного фотографирования, уступающими по своим свойствам лишь некоторым типам дуговых ламп.

Вопрос о выборе источников света для инфракрасного фотографирования, таким образом, значительно упрощается тем, что большинство распространенных источников света, используемых для обычной фотографии в видимых лучах, вполне пригодно и для фотографирования в инфракрасных лучах.

СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ К ИНФРАКРАСНЫМ ЛУЧАМ

Фотографические бромосеребряные эмульсии светочувствительны к синим и фиолетовым лучам и практически вовсе не чувствительны к лучам желтым, зеленым и красным. При съемке на подобных материалах, например на позитивных слоях, цветопередача не соответствует восприятию цветов нашим глазом. Глаз обладает наибольшей чувствительностью в желтой зоне спектра, тогда как обыкновенные, не сенсibilизированные, пластинки чувствительны лишь к лучам синим и фиолетовым.

В 1873 г. Фогель установил, что при добавлении к эмульсии некоторых красителей она становится чувствительной к желтым и зеленым лучам. Процесс очувствления фотографических эмульсий к тем лучам, к которым она сама не чувствительна, путем введения в

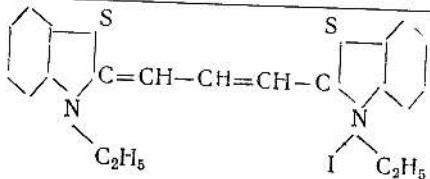
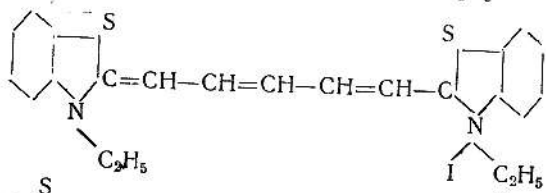
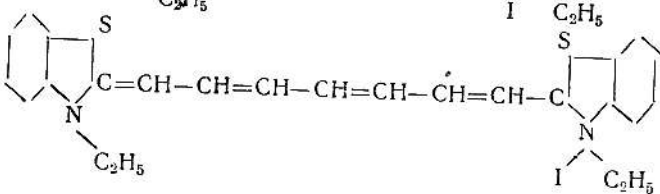
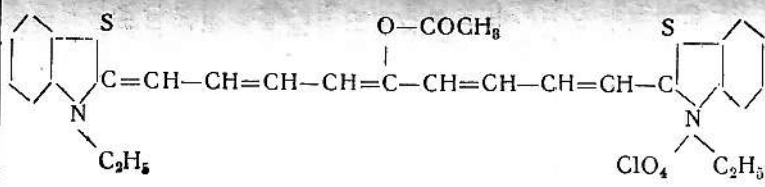
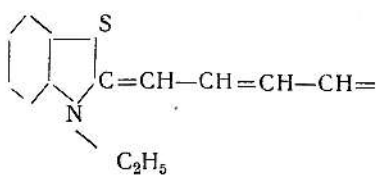
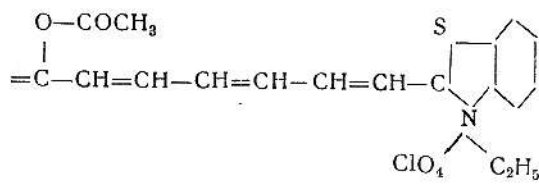
нее некоторых красителей называется оптической сенсibilизацией, а сами красители — оптическими сенсibilизаторами. Фотографические материалы, очувствленные таким образом к желто-зеленой части спектра, были названы ортохроматическими, а к красной части спектра — панхроматическими.

В 1906 г. Филипсом был синтезирован дицианин — первый инфрахроматический сенсibilизатор, сенсibilизирующий эмульсию примерно до 800 м μ . Однако практическая съемка на материалах, сенсibilизированных дицианином, вследствие их ничтожной чувствительности и сильной склонности к вуалированию была возможна только в спектроскопии и других областях научной фотографии.

В 1919 г. Адамс и Халлер синтезировали криптоцианин — краситель, обладающий очень сильным сенсibilизирующим действием между 700 и 800 м μ с максимумом сенсibilизации при 735 м μ . При его использовании были получены готовые сенсibilизированные материалы, на которых можно было производить не только наземные, но и воздушные съемки.

В 1925 г. был синтезирован неоцианин, который очувствлял эмульсию к области от 650 до 900 м μ с максимумом при 830—840 м μ .

Все эти красители-сенсibilизаторы относятся к классу так называемых цианиновых красителей. При разработке этого класса соединений в 1931—1935 гг. было получено значительное число новых инфрахроматических сенсibilизаторов, которые по свойствам превышали все полученные ранее.

Красители		Число мети- новых групп в цепи	Макс- мум сенс- били- зации
1		3	595
2		5	695
3		7	810
4		9	915
5	 	11	1020

По своему строению большинство цианиновых красителей представляет собой два гетероциклических ядра, соединенных полиметиновой цепью, состоящей из различного числа метиновых ($—CH=$) групп. С возрастанием длины полиметиновой цепи максимум сенсibilизации фотографических эмульсий этими красителями все далее смещается в инфракрасную часть спектра. Об этом можно судить по данным табл. 2. Краситель 1, содержащий три метиновые ($—CH=$) группы в цепи, сенсibilизирует к желто-зеленым лучам с максимумом сенсibilизации при 595 $m\mu$ и относится к панхроматическим сенсibilизаторам. Краситель 2 содержит пять метиновых групп в цепи, сенсibilизирует эмульсию к красным лучам, имеет максимум сенсibilизации при 695 $m\mu$ и является ближним инфрахроматическим сенсibilизатором. Красители 3, 4 и 5 имеют все более и более длинную полиметиновую цепь и очуствляют эмульсию к зонам с максимумами сенсibilизации при 810, 915 и 1020 $m\mu$, т. е. все далее смещающимися в длинноволновую инфракрасную часть спектра. Красители 3, 4 и 5 относятся к инфрахроматическим сенсibilизаторам.

Для фотографической практики необходимо помнить о другой весьма важной зависимости: по мере смещения сенсibilизирующих свойств красителей все далее в инфракрасную часть спектра спектральная чувствительность эмульсий, очуствленных этими красителями, и определенная под фильтром (т. е. без собственной чувствительности бромистого серебра), непрерывно и резко падает.

Графически подобные соотношения представлены на рис. 3, где на оси абсцисс указано число метиновых групп в полиметиновой цепи, а на оси ординат — значения спектральной чувствительности. Наиболее высокая чувствительность у панхроматического сенсibilизатора, имеющего три метиновые группы в цепи; значительно ниже она у ближнего инфракрасного сенсibilизатора, имеющего пять метиновых групп в цепи, и еще ниже у инфрахроматических красителей, имеющих семь и девять метиновых групп в цепи и сенсibilизирующих все далее и далее в инфракрасной части спектра.

Этим обстоятельством главным образом и объясняется факт, о котором упоминалось выше, что в практических условиях используют, как правило, более светочувствительные фотослои, очуствленные к ближней инфракрасной части спектра, в участке между 760 и 850 $m\mu$, тогда как менее чувствительные инфрахроматические материалы, очуствленные к большим длинам волн, используют преимущественно для научных целей (например, для фотографирования спектров).

В литературе отсутствуют данные о рецептуре и методах изготовления инфрахроматических светочувствительных эмульсий и поэтому здесь

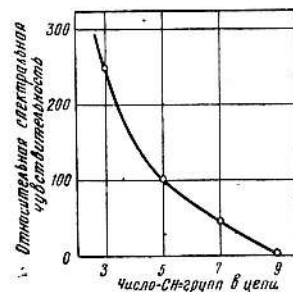


Рис. 3. Относительные величины спектральной чувствительности красителей с различной длиной полиметиновой цепи

будут рассмотрены свойства лишь готовых инфрахроматических слоев.

Отечественная промышленность выпускает три сорта инфрахроматических пластинок для научных целей: Инфрахром 760, Инфрахром 840 и Инфрахром 880. Характеристики этих материалов приведены в табл. 3 (6).

Таблица 3

Фотографические характеристики	Типы пластинок		
	Инфра-хром 760	Инфра-хром 840	Инфра-хром 880
Общая светочувствительность в единицах ГОСТ	1,4	0,18	0,02
Максимальный коэффициент контрастности ($\gamma_{\max}$)	2,0	1,6	1,6
Разрешающая способность R (лин./мм)	65	45	11
Фактор зернистости (G)	22	22	22

Светочувствительность определялась под красным светофильтром КС-14 при рекомендуемой гамме 1,3, а фактор зернистости — по методу, разработанному Ю. Н. Гороховским и Т. М. Левенберг.* Фактор зернистости $G = \frac{100}{m_{\text{пр}}}$, где $m_{\text{пр}}$ — предельный масштаб

увеличения, когда на гранулограмме при освещенности около 500 лк зернистость становится мешающей.

* Ю. Н. Гороховский и Т. М. Левенберг. Успехи научной фотографии, т. 1, Издательство Академии наук, 1951.

Кривые спектральной чувствительности этих пластинок представлены на рис. 4. Следует отметить, что собственная (синяя) чувствительность всех трех сортов пластинок с максимумом при 430 мμ практически одинакова, в то время как добавочная чувствительность, созданная ин-

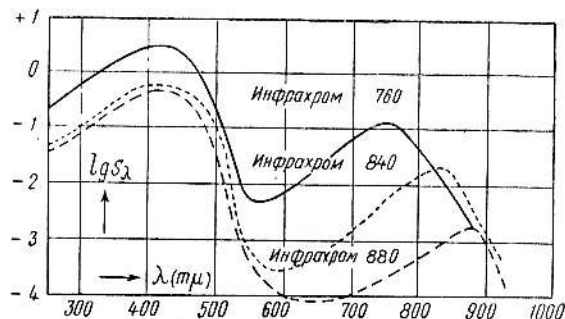


Рис. 4. Кривые спектральной чувствительности пластинок Инфрахром 760, Инфрахром 840, Инфрахром 880

фрасенсибилизатором, непрерывно уменьшается для пластинок с максимумами 760—840—880 мμ. Об этом же можно судить и по значениям светочувствительности, приведенным в табл. 3.

Характеристические кривые этих пластинок для различного времени проявления от 2 до 12 минут приведены на рис. 5. Кривые показывают, что с увеличением времени проявления чувствительность и контраст возрастают.

Из современных инфрахроматических материалов, выпускаемых на мировом рынке, до-

вольно полные характеристики опубликованы для инфрахроматических пластинок Агфа.

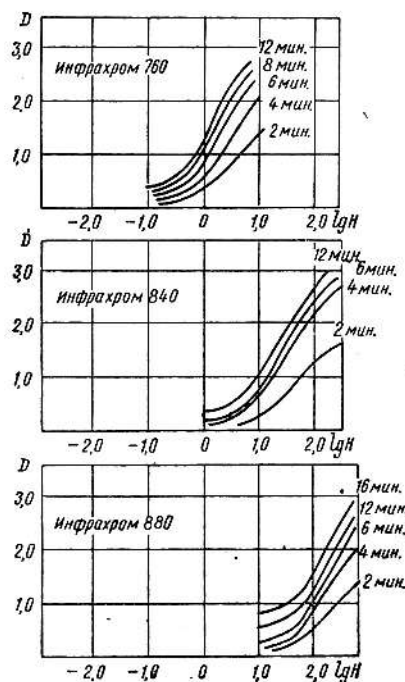


Рис. 5. Характеристические кривые инфрапластинок для научных целей

Для изготовления инфрахроматических пластинок фабрикой Агфа используются две основные эмульсии: более чувствительная и менее контрастная «рапид» и менее чувствительная, но более контрастная «харт». В метол-

гидрохиновом проявителе Агфа пластинки «рапид» проявляются в течение 5 минут до гаммы 1,5, а пластинки «харт» — до гаммы 2,4.

Характеристики различных сортов инфрапластинок приведены в табл. 4, а спектрограммы — на фото 1 (см. приложения), в которых наименование Инфра 700 означает, что у этих пластинок максимум сенсibilизации лежит при 700 м μ ; Инфра 750 — максимум сенсibilизации при 750 м μ и т. д.

Таблица 4

Характеристики инфрахроматических пластинок Агфа

Сорт пластинок		Фактический максимум сенсibilизации (в м μ)	Средняя величина зерна (в μ)	Разрешающая способность (в лин/мм)	Сохраняемость
Инфра	700 „харт“	720	1,05	60	6 месяцев
„	750 „	750	1,05	60	6 „
„	800 „	830	1,05	60	6 „
„	850 „	860	1,05	60	6 „
Инфра	700 „рапид“	720	1,20	45	5 „
„	750 „	750	1,20	45	5 „
„	800 „	830	1,20	40	5 „
„	850 „	860	1,20	40	5 „
„	950 „	935	1,20	40	1,5 месяца
„	1050 „	1030	1,20	40	1 месяц

Табл. 4 показывает, что фактические максимумы сенсibilизации несколько отличны от

Области применения инфрахроматических пластинок Агфа

Область применения	Максимумы сенсibilизации инфрахроматических пластинок (в мμ)		
	для менее чувствительных, более контрастных („харт“)	для более чувствительных, менее контрастных („рапид“)	для прочих
Спектроскопия	700, 750, 800, 850	—	950, 1050
Астрономия	700, 750, 800, 850	—	950, 1050
Медицина	750, 800, 850	700, 800, 850	—
Микроскопия	700, 750, 800, 850	700, 750, 800, 850	—
Патология растений	800, 850	800, 850	—
Геология	800, 850	800, 850	—
Минералогия	800, 850	800, 850	—
Фототермометрия для определения температур выше 300°C	—	850	—
Криминалистика	850	850	950
Исследования окрашенных образцов текстиля	850	—	—
Пейзажные съемки; даль с легким туманом	—	700	—
Пейзажные съемки; даль при туманной или пасмурной погоде	—	800, 850	—
„Лунный эффект“ при солнечном свете	700, 750, 800, 850	700, 750, 800, 850	—
Фотографирование в темноте (при источниках света с черным фильтром)	850	850	—
Археологические исследования (изучение старинных рукописей на бумаге, коже, дереве, папирусе и пр.) . .	700, 750, 800, 850	—	950
Фотограмметрия	700, 750, 800, 850	700, 750, 800, 850	—
Аэрофотография	—	700, 750, 800	—
География	700, 750, 800	700, 750, 800	—
Репродукция пожелтевших фотографий, дагеротипов и т. п.	700, 750, 800, 850	700, 750, 800, 850	—

максимумов, указанных на этикетках; более контрастные пластинки «харт» обладают меньшим зерном и большей разрешающей способностью, вследствие чего они приводят к лучшим результатам при увеличении, чем пластинки «рапид».

Примеры использования различных сортов инфрахроматических пластинок приведены в табл. 5. Таблица показывает, что в тех случаях когда есть возможность удлинить экспозицию и когда необходимо получить более четкие и контрастные изображения, которые можно было бы затем увеличить, применяют менее чувствительные и более контрастные пластинки «харт». Их применяют для спектральных съемок, астрофотографии, для фотографирования образцов текстиля, археологических исследований, для съемки старинных рукописей, гравюр, рисунков, произведений живописи и т. д. и проявляют в проявителе, дающем больший контраст.

Для пейзажных и воздушных съемок применяют более чувствительные и менее контрастные пластинки «рапид», проявляя их в проявителе, дающем меньший контраст.

В зависимости от того, нужна ли лучшая проработка деталей и большая точность снимка или же большая художественность впечатления, могут быть использованы как более, так и менее контрастные слои. Это относится, в частности, ко всем видам репродукционных работ, к фотографии в темноте, для получения «лунного эффекта» при солнечном свете, для медицинских, географических, геологических, ботанических и минералогических съемок.

Интересными представляются два особых случая использования инфракрасной съемки.

В 1909 г. русский астроном Г. А. Тихов предложил одновременное фотографирование одного объекта на двух различных фотоматериалах, чувствительных к различным зонам спектра, с последующим сопоставлением таких парных снимков.

При использовании этого метода им были получены весьма ценные фотографии планеты Марс.

В. А. Фаас установил, что наиболее целесообразно в этом случае фотографировать одновременно в следующих двух зонах спектра: в красной при 650 $m\mu$ и в инфракрасной — при 750—850 $m\mu$, для чего следует использовать комбинацию панхроматического и инфрахроматического фотоматериалов.

Особое место среди инфрахроматических материалов занимают п а н и н ф р а х р о м а т и ч е с к и е слои, чувствительные одновременно к красной и инфракрасной части спектра. Эти фотослои применяются главным образом для астрономических съемок, для аэросъемки лесов, геологического изучения больших территорий и т. д. Использование их дает возможность обнаружить дополнительные детали объектов по сравнению со съемкой на одной панхроматической или инфрахроматической пленке.

Методы работы с этим сортом фотоматериалов специально рассматриваться не будут, однако все соображения, приводимые здесь для обычных инфрахроматических, справедливы и для панинфрахроматических материалов.

Свойства инфрахроматических материалов в значительной степени зависят от сроков их использования. Чувствительность инфрахроматических слоев оказывается наибольшей, а вуаль — наименьшей тотчас после их изготовления.

По мере хранения материалов происходит непрерывное и быстрое падение светочувствительности, при некотором росте вуали. Эти процессы старения светочувствительных материалов будут значительно более интенсивными у инфрахроматических материалов по сравнению с материалами панхроматическими. Об этом, в частности, можно судить по данным таблицы 3. Как известно, обычно гарантируемый срок годности панхроматических материалов равен одному году, в то время как тот же срок для инфрахроматических пластинок Агфа «харт» (табл. 3) равен лишь 6 месяцам. Для более чувствительных пластинок «рапид» эти сроки (по данным той же таблицы) еще короче: для всех сортов пластинок от Инфра 700 до Инфра 850 этот срок равен 5 месяцам, для пластинок Инфра 950 он снижается до 1,5 месяца, а для пластинок Инфра 1050 он равен только 1 месяцу. По данным других авторов, срок хранения двух последних сортов еще более короток: для пластинок Инфра 950 он равен 4,3 или даже 2 неделям, а для пластинок Инфра 1050 — 2 и 1 неделе.

Все эти данные указывают, что по мере смещения максимума спектральной чувствительности к большим длинам волн все в большей

степени снижаются и стабильные свойства инфрахроматических слоев. Это обстоятельство также мешает более широкому использованию инфрахроматических слоев, очувствленных к длинноволновой радиации.

Падение чувствительности и рост вуали при хранении сильно замедляются при понижении температуры окружающей среды. Так, например, по данным лаборатории Кодак, пластинки Инфра 1050, хранящиеся при комнатной температуре, стабильны лишь несколько дней, хранящиеся при 0° — около недели, а выдерживаемые над твердой углекислотой (над сухим льдом) при 70° — месяц. В последнем случае для пластинок Инфра 1050 не наблюдается ни падения чувствительности, ни роста вуали. Пластины Инфра 950 при комнатной температуре стабильны 3—4 недели, а при хранении над льдом — от 2 до 3 месяцев.

Для повышения стабильности инфрахроматических материалов последние целесообразно хранить при максимально низкой температуре, например в холодильниках любого типа, при условии нахождения фотослоев в герметической упаковке, в которую не могла бы проникнуть влага. Не следует бояться замерзания воды и образования льда в эмульсии при хранении фотослоев при температуре ниже 0° . Даже при температуре жидкого воздуха вода замерзает в желатине лишь в том случае, если влагосодержание ее достигает по крайней мере 34%, в то время как для обычных фотослоев оно равно 6—9%. Так, например, опыты по хранению пленок над твердой углекислотой при -70°C в течение 3 недель и при -25°C в те-

чение трех лет не показали в эмульсионном слое никаких изменений.

По окончании хранения в холодильнике и до того момента, когда пленка должна быть вынута из упаковки, она выдерживается в обычных температурных условиях и подогревается до окружающей температуры, чтобы избежать конденсации на ней водяных паров. Чем больше разница между температурой холодильника, при которой хранилась пленка, и температурой помещения, в котором пленка должна быть вынута из упаковки, тем дольше должен быть выдержан при комнатной температуре сосуд с пленкой перед ее вскрытием. Ниже приводятся подобные сроки выдерживания пленки при комнатной температуре перед ее вскрытием для двух перепадов (Δt) температур от холодильника до комнатной: 15° и 55°С (табл. 6).

Таблица 6

Время выдерживания пленок после их извлечения из холодильника до вскрытия упаковки

Фотографический материал	$\Delta t = 15^\circ\text{C}$	$\Delta t = 55^\circ\text{C}$
Катушка пленки 35-мм	20 мин.	30 мин.
Катушка пленки 16-мм	1 час	1 час 30 мин.
Коробка с 25-мм форматными пленками	1 час 30 мин.	2 часа
Коробка с 100-мм форматными пленками	3 часа	5 часов
Катушка пленки 35-мм $\times$ 30 м	4 "	6 "

Стабильность пленок при хранении на холоду улучшается лишь в том случае, если вла-

га не проникает внутрь упаковки. Если же влага достигнет пленки, последняя сохраняется хуже, чем если бы она хранилась не в холодильнике, а просто на воздухе. Известно, что хранение во влажной среде ускоряет падение чувствительности и рост вуали практически у всех типов пленок.

ГИПЕРСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ

Светочувствительность инфрахроматических материалов во многих случаях оказывается недостаточно высокой, если: а) фотослой, sensibilizированные к ближней и в особенности к дальней инфракрасной области, уже при изготовлении имели невысокую спектральную чувствительность; б) светочувствительность, максимальная при выпуске, сильно снизилась при хранении.

В обоих случаях светочувствительность можно повысить гиперсенсibilизацией фотослоя.

Гиперсенсibilизацией называют способы обработки готовых фотографических материалов перед их экспонированием с целью повышения светочувствительности. Обработка состоит или в купании слоев в тех или иных растворах (например, в растворах солей серебра, аммиака, буры, пиридина и других веществ), или же в выдерживании их в парах различных веществ (например, ртути, аммиака).

Ввиду того что гиперсенсibilизация инфрахроматических материалов путем выдерживания их в парах различных веществ еще

недостаточно исследована и показывает противоречивые результаты, в дальнейшем будут рассмотрены лишь способы гиперсенсibilизации в растворах.

Механизм гиперсенсibilизации методом купания не вполне выяснен; наиболее распространенной является теория, согласно которой при обработке фотографических слоев в ваннах происходит уменьшение концентрации ионов брома в эмульсии и обогащение ее ионами серебра.

Рассмотрим несколько способов гиперсенсibilизации, используемые в практике для повышения светочувствительности инфрахроматических слоев.

1. Купание в воде

Инфрахроматические пластинки или пленки купают в течение 5 минут в дистиллированной или при отсутствии ее в проточной воде. Температура воды не должна быть выше 20°C. Пластинку или пленку после купания в воде погружают для ускорения сушки в спирто-водную смесь, содержащую 50—70% спирта, и затем быстро высушивают под вентилятором.

Купание в воде — простейший способ гиперсенсibilизации, дающий в большинстве случаев вполне удовлетворительные результаты по значительному повышению чувствительности и малому росту вуали, но главное — по относительно лучшей стабильности гиперсен-

сibilизованных слоев сравнительно со слоями, обработанными другими способами.

Этот способ гиперсенсibilизации следует рекомендовать в тех случаях, когда желательно значительно повысить чувствительность инфрахроматического материала, но нет необходимости достигать наибольшего повышения.

Для получения более высокой чувствительности следует применять следующие рецепты щелочных ванн (2, 3 и 4).

2. Рецепт Агфа

Сода кристаллическая	5 г
Аммиак (20%-ный)	5 мл
Вода дистиллированная	1000 »

Инфрахроматический материал купают в этом растворе в течение 10 минут при температуре 10—12°C, затем ополаскивают 3 минуты в спирто-водной смеси 1:1 и быстро высушивают.

3. Рецепт Кодак

Инфрахроматический материал купают 1 минуту в растворе, состоящем из 4 мл 28%-ного аммиака в 100 мл воды, при температуре, не превышающей 10°C, и затем высушивают под вентилятором с таким расчетом, чтобы через 5 минут слой был бы сухим.

4. Рецепт Агфа

Хлористый натр (поваренная соль)	0,5 г
Бура	2 »
Вода дистиллированная	до 1 л

В этом растворе, имеющем температуру 12°C, купают пластинку или пленку дважды по

2 минуты, каждый раз в свежем растворе, а затем переносят на 1 минуту в спирто-водную смесь и высушивают под вентилятором.

Наконец, относительно наибольшее повышение чувствительности при гиперсенсibilизации достигается при использовании ванн, содержащих одновременно аммиак и ту или иную соль серебра. В качестве примера приведем рецепт 5, Геверт.

5. Рецепт Геверт

Хлористое серебро	0,25 г
Аммиак (24° Боме)	40 мл
Вода дистиллированная	1000 »

Пластинку купают в этом растворе 2—4 минуты, ополаскивают в спирте и быстро сушат.

Повышение светочувствительности при гиперсенсibilизации сопровождается, как правило, резким ухудшением стабильных свойств инфраматериалов. В результате гиперсенсibilизации инфрахроматические слои быстро вуалируют, вследствие чего они должны быть использованы возможно скорее, желательно тотчас же после изготовления, но не позже 1—3 дней после гиперсенсibilизации и хранения материалов при комнатной температуре. Если хранить материалы в холодильнике без доступа влаги, то срок их использования может быть продлен до нескольких недель и даже месяцев, прежде чем они сильно завуалируют. Пластинки, гиперсенсibilизированные в содово-аммиачном растворе (рецепт 2), стабильны только в течение 24 часов.

Чувствительность фотослоев, гиперсенсibilизованных купанием в простой воде (рецепт 1), будет ниже, но стабильность — выше по сравнению со слоями, обработанными по рецептам 2—5.

При гиперсенсibilизации инфрахроматических материалов необходимо учитывать следующее:

1. Температура гиперсенсibilизирующей ванны не должна быть высокой, во всяком случае она не должна превышать 20°C. Требования ряда рецептов сохранять температуру ванны на уровне не выше 10—12°C справедливы лишь для легко вуалирующих слоев. Чем выше температура ванны, тем относительно выше получаемая чувствительность, но тем вероятнее получение повышенной вуали. Интервал температур 15—18°C может быть рекомендован в качестве достаточного.

2. Для предотвращения быстрого вуалирования слоя сушка инфраслоев после гиперсенсibilизации должна быть максимально короткой. С этой целью рекомендуют обрабатывать гиперсенсibilизированные фотослои в спирте или лучше спирто-водной смеси, так как купание в чистом спирте может привести к сморщиванию поверхности желатинового слоя. Вследствие вредности метилового спирта следует применять спирт этиловый. После купания в спирто-водной смеси гиперсенсibilизированные слои быстро сушат. Сушку производят под вентилятором, не дающим искры, под сильным током холодного или слабо нагретого воздуха.

3. Все операции гиперсенсibilизации проводятся в полной темноте.

Конечный эффект гиперсенсibilизации зависит от большого числа факторов: типа исходной эмульсии, природы красителя-сенсibilизатора, времени хранения слоя, условий хранения и т. д. — и заранее с достаточной надежностью предсказан быть не может. Отмечалось лишь, что чувствительность инфрахроматических слоев после гиперсенсibilизации повышалась от 2 до 20 раз по сравнению с исходной чувствительностью.

Гиперсенсibilизацию следует применять во всех случаях, когда необходимо максимальное сокращение экспозиции, как, например, при съемках в темноте, при фотографировании людей, животных и т. д. В других случаях, особенно при съемке неподвижных предметов, подобная обработка будет излишней.

СВЕТОФИЛЬТРЫ

При работе с инфрахроматическими материалами используют светофильтры следующих типов: 1) светофильтры для получения неактиничного света; 2) светофильтры для фотографической съемки в инфракрасном. По назначению и зонам пропускания света эти светофильтры сильно различаются и должны быть рассмотрены отдельно.

СВЕТОФИЛЬТРЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Инфрахроматические материалы чувствительны к сине-фиолетовым лучам с максимумом при 450 $m\mu$ и с границей чувствительности примерно при 530 $m\mu$. Этот участок представляет собой зону собственной чувст-

вительности бромистого серебра и присутствует в равной степени во всех инфрахроматических слоях независимо от того, к какому участку инфракрасного спектра они сенсibilизированы. На типовой спектрограмме инфраслоя (рис. 6, I) зона собственной чувствительности

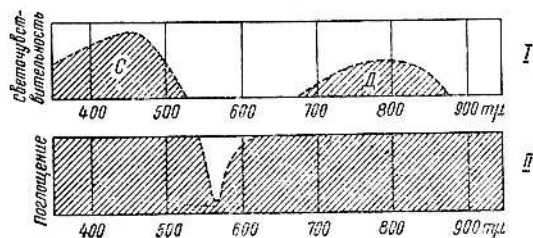


Рис. 6. Спектрограмма инфракрасных пластинок Илфорд (I) и поглощение фильтра Илфорд для неактиничного света (II)

бромистого серебра обозначена буквой С. Зона добавочной, или спектральной, чувствительности пластинки к инфрахроматическим лучам, обусловленная свойствами введенного красителя-сенсibilизатора, на графике обозначена буквой Д. Между зонами С и Д (собственной и добавочной чувствительности) у большинства инфрахроматических материалов существует «провал», простирающийся примерно от 530 до 670 $m\mu$, в зоне которого фотослой практически нечувствителен. Светофильтры для работы с подобными материалами должны пропускать зеленые и оранжевые лучи (530—670 $m\mu$) и поглощать сине-фиолетовые, часть красных и инфракрасные лучи (ниже 530 и вы-

ше 670 $m\mu$). Кривая поглощения такого светофильтра приведена на рис. 6, II.

Подобные светофильтры используются для освещения темных цехов и темных комнат при поливе, сушке, проявлении, фиксировании и прочих операциях, проводимых с инфрахроматическими слоями.

Так как светофильтры неактиничного света для работы с инфрахроматическими материалами имеют на просвет зеленый цвет, то весьма часто считают, что для работы с инфраслоями можно использовать зеленые светофильтры, применяемые в работе с панхроматическими материалами. Однако зеленые панхроматические светофильтры пропускают инфрахроматические лучи, вуалируют инфрапленку и полностью непригодны для работы с инфраматериалами.

Светофильтры для неактиничного света бывают сухие и жидкие. Сухие светофильтры изготавливаются или из окрашенной желатины, политой на стеклянную подложку, или из стекла, окрашенного в массу. Кривая поглощения светофильтра последнего типа приведена на рис. 6, II.

Для получения неактиничного света фирма Агфа рекомендует использование сухого желатинового светофильтра № 114 в комбинации с какой-либо лампой тлеющего разряда, например неоновой лампой. Эти фильтры, изготовленные из цианиновых красителей, отличаются малой светопрочностью и легко выцветают.

Жидкие светофильтры изготавливаются из растворов различных солей. Приведем рецепт

простого жидкого светофильтра, который легко можно изготовить самому.

В стеклянный цилиндр без градуированных делений, высотой 35—40 см и внутренним диаметром около 4 см насыпают столбик дробы или других металлических частиц высотой примерно в 8 см (рис. 7, А). В цилиндр вводят кор-

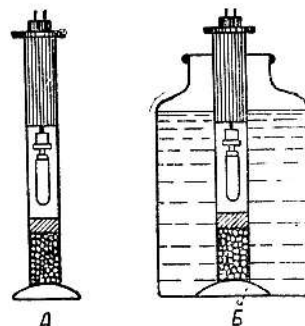


Рис. 7. Светофильтр для лабораторных работ с инфрахроматическими материалами

ковую пробку, которой изолируют столбик дробы от верхнего пространства цилиндра. В цилиндр помещают лампу накаливания 25 $вт$ с 14-мм эдисоновским патроном, который закрывают листом фольги или другого легкого металла, свернутым в длинную и узкую трубку. Сверху цилиндр заклеивается черной неактиничной бумагой и липкой лентой, слой которых делается такой толщины, чтобы их края доходили до стенок цилиндра и придавали лампе устойчивость. Цилиндр сверху закрывают

крышкой из металла или картона, на которой укрепляют вилку для последующего присоединения лампы к осветительной сети.

Большую банку емкостью в 5 л наполняют раствором, в котором длинноволновое излучение выше 580 мμ и все инфракрасные лучи поглощаются насыщенным раствором медного купороса, а лучи ниже 560 мμ — 5%-ным двуххромовокислым калием. Смесь изготавливается следующим образом.

В одном сосуде растворяют на холоду 200 г медного купороса в 1 л воды и получают насыщенный раствор, в котором часть медного купороса остается на дне в виде осадка.

В другом сосуде готовят 5%-ный раствор двуххромовокислого калия. Смешивают девять частей раствора медного купороса с одной частью раствора двуххромовокислого калия и заливают смесь в банку, на дно которой предварительно устанавливается цилиндр с лампой (рис. 7, Б). Смесь заливают в банку в таком количестве, чтобы раствор закрыл часть изолирующей обмотки в верхней части цилиндра и чтобы свет электролампы не мог пройти наружу. Банка должна быть выбрана таких размеров, чтобы толщина слоя раствора между стенками цилиндра и банки была не менее 7 см.

Этот светофильтр создает очень светлое бледно-зеленое освещение, дающее возможность легко просматривать на просвет степень почернения проявленной пластинки.

Подобные светофильтры, естественно, неприменимы для работ с панинфрахроматическими материалами, с которыми приходится работать или в полной темноте, или со специ-

альными светофильтрами, пропускание которых выбрано в соответствии с характеристиками спектральной чувствительности данного конкретного материала.

СВЕТОФИЛТРЫ ДЛЯ СЪЕМКИ

Общим требованием ко всем съемочным светофильтрам, применяемым для инфракрасного фотографирования, является полное поглощение синих и фиолетовых лучей. Уже указывалось, что инфрахроматические материалы чувствительны к сине-фиолетовым лучам (зона С на рис. 6) и к инфракрасным лучам (зона Д на рис. 6), причем чувствительность к последним лучам обычно значительно ниже так называемой собственной чувствительности бромистого серебра к сине-фиолетовым лучам. Если снять какой-либо объект на инфракрасной пластинке без светофильтра, то никаких инфраэффектов от съемки не получится, и снимок будет похож не на фотографию, снятую в инфрахроматических лучах, а на снимок, снятый на обычном, несенсибилизированном фотографическом материале. Действительно, инфрачувствительность недостаточно велика, чтобы произвести ощутимый эффект во время короткой экспозиции, требуемой для собственной чувствительности пластинки к сине-фиолетовым лучам. При увеличении экспозиции, однако, положительный инфраэффект также не будет достигнут, так как по отношению к сине-фиолетовым лучам слой будет сильно переэкспонирован.

Для получения правильного изображения в инфрахроматических лучах съемка проводит-

ся во всех случаях со светофильтром, поглощающим сине-фиолетовые лучи.

Практически для инфракрасной фотографии применяют красные и инфракрасные светофильтры. Из последних часть фильтров, полностью поглощающих видимые лучи и пропускающих только инфракрасные лучи, называют также черными фильтрами.

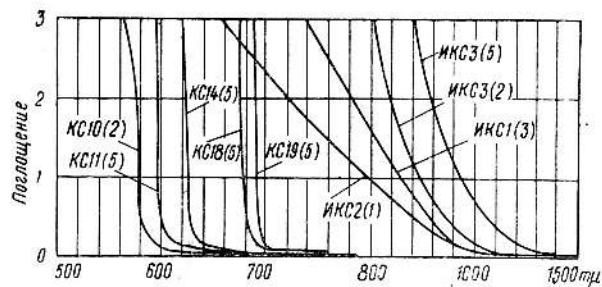


Рис. 8. Кривые поглощения красных и инфракрасных светофильтров

В качестве примера на рис. 8 приведены кривые поглощения красных (обозначенные индексом КС) и инфракрасных (ИКС) светофильтров из стекла, окрашенного в массу*. Цифры в скобках указывают на толщину фильтров в миллиметрах.

Красные светофильтры от КС10 до КС18 вполне пригодны для инфрахроматической съемки вследствие полного поглощения ими сине-фиолетовых лучей, которые воздействуют на собственную чувствительность бромистого се-

* «Каталог цветного стекла», Оборонгиз, 1951.

ребра. При использовании инфрахроматических материалов, чувствленных к далекой инфракрасной части спектра, следует применять инфракрасные светофильтры ИКС2, ИКС1 и ИКС3.

В табл. 7 приводится также перечень красных и инфракрасных светофильтров Агфа, а на рис. 9 — кривые их поглощения.

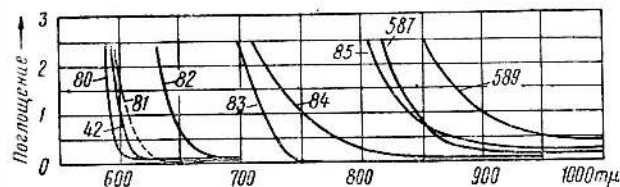


Рис. 9. Кривые поглощения красных и инфракрасных светофильтров Агфа

Таблица 7

Характеристика красных и инфракрасных светофильтров Агфа

Номер светофильтра	Цвет светофильтра	Поглощает лучи короче
42	Красный	600 мμ
80	Светло-красный	610 "
81	Красный	620 "
82	Темно-красный	660 "
83	Черный	720 "
84	"	780 "
85	"	840 "
587	"	880 "
589	"	920 "

Принципиально для инфракрасного фотографирования пригоден каждый светофильтр, который полностью поглощает сине-фиолетовые лучи. За неимением красного можно применить даже плотный желтый светофильтр. Рис. 10, 1 показывает, что практически безразлично, происходит ли поглощение сине-фиолетовых лучей, воздействующих на собственную чувствительность эмульсии (участок *C*), светофильтрами *I*, *II* или *III*, т. е. оранжевым, красным или темно-красным светофильтрами. Важно лишь, чтобы эти сине-фиолетовые лучи были поглощены полностью. В то же время черный светофильтр *IV* поглотит часть излучения, активного для участка *D* — зоны инфрахроматической чувствительности, — уменьшит эффективность увеличения экспозиции, чтобы получить ту же плотность, что и в случае применения светофильтров *I*, *II* и *III*. Тот же черный светофильтр *IV*, применяемый для эмульсии, очувствленной к более далекому инфракрасному излучению (см. рис. 10, 2) не уменьшит светочув-

ствительности участка *D* и в то же время поглотит все видимые лучи, что необходимо, например, для съемок в темноте.

Отсюда следует, что при съемке на инфрахроматических слоях следует применять только такие светофильтры, граница поглощения которых не заходит на зону добавочной (инфракрасной) чувствительности этого материала. Так, например, фильтры Агфа 42, 80, 81, 82 применяют для всех типов инфрахроматических пластинок, так как границы их пропускания, находящиеся при 600, 610, 620 и 660 м μ , лежат ниже нижнего предела чувствительности к инфракрасному, находящемуся примерно при 680 м μ . Более плотный фильтр 83 применяют для пластинок с максимумом при 750 м μ и для всех пластинок с более далекими максимумами сенсibilизации; черный фильтр 85 — для пластинок 850 м μ и, наконец, черные фильтры 587 и 589 применяют только для пластинок 950 и 1050.

Для проверки соответствия границ поглощения светофильтров и границ светочувствительности соответствующих инфраматериалов следует сопоставить кривые поглощения светофильтров Агфа (см. рис. 9) и кривые спектральной чувствительности пластинок Агфа (рис. 11). На последнем рисунке обозначение 1050 (10 раз) указывает, что для данного образца экспозиция была увеличена в 10 раз по сравнению со стандартной экспозицией для пластинки 1050.

Для материалов, чувствительных к далекому инфракрасному, будет наилучшим применение светофильтров от светло-красных до сред-

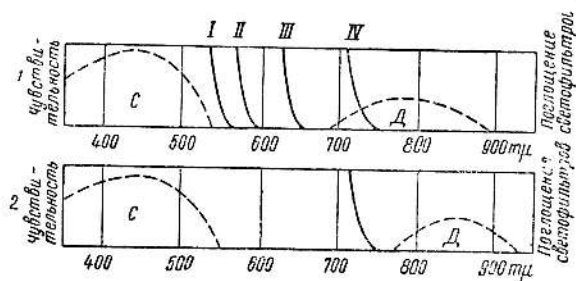


Рис. 10. Примеры использования съемочных светофильтров для инфрахроматических материалов

них по плотности красных фильтров и лишь в редких случаях — темно-красных фильтров.

При выборе фильтров следует помнить, что использование более темных фильтров не даст никакого преимущества, но приведет лишь к удлинению экспозиции.

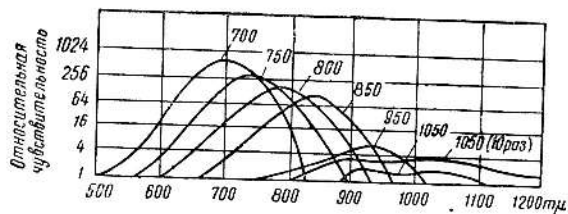


Рис. 11. Спектральная чувствительность инфракрасных пластинок Агфа

При выборе между черным и красным фильтром следует предпочесть красный фильтр, а черный фильтр применять лишь в некоторых случаях, когда нужно производить съемку в темноте или необходимо выделить узкую часть спектра.

СЪЕМКА НА ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ И ИХ ОБРАБОТКА

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Фотоаппараты, используемые для съемки на панхроматических или других светочувствительных слоях, пригодны также для инфракрасного фотографирования. Однако при выборе того или иного аппарата следует помнить,

что ряд материалов, из которых изготавливают аппараты и кассеты, пропускает инфракрасные лучи. К таким материалам относятся различные сорта дерева, эбонит, вулканизированная фибра, кожа, целлулоид, бакелит. Следует избегать фотоаппаратов и кассет, которые полностью или частично сделаны из этих материалов. Так, например, аппараты с мехом из желтой кожи обычно пропускают инфракрасные лучи. Шторки малоформатных аппаратов (не металлические) также пропускают инфракрасные лучи.

Некоторые фотоаппараты старых конструкций имеют затворы из тонких эбонитовых пластинок, которые пропускают инфракрасные лучи и вуалируют инфрахроматические пластинки и пленки. Для инфракрасного фотографирования следует использовать только металлические затворы.

Для проверки кассеты на проницаемость инфракрасными лучами ее заряжают инфрахроматической пластинкой или пленкой, кладут на пленку монету, закрывают кассету крышкой и выставляют закрытую кассету на свет. Затем переносят кассету в темную комнату, вынимают пластинку и проявляют. Если на пластинке или пленке светлым пятном проработался контур монеты, кассета пропускает инфракрасные лучи и без защитных покрытий использована быть не может. Вообще же для инфрасъемки целесообразнее всего применять металлические кассеты, не пропускающие инфракрасных лучей.

Проверку аппарата на его пригодность для инфракрасного фотографирования произво-

дят следующим образом. Заряжают кассету фотослоем, чувствительным к инфракрасному, помещают кассету в фотоаппарат, двигают у кассеты шиббер, и затем фотоаппарат с закрытым объективом выставляют на 2—4 минуты под прямой солнечный свет или под свет лампы накаливания в 500 вт. Задвигают движок кассеты, вынимают кассету из аппарата, переносят в темную комнату, вынимают фотослой из кассеты и проявляют. Если на пластинке вуали или следов засветки нет, аппарат пригоден к использованию.

Деревянные кассеты, мех фотоаппаратов, истертые углы и другие детали можно сделать непроницаемыми для инфракрасных лучей, если их покрыть лаком с большим содержанием сажи, черной ламповой копоти или другого красителя, не пропускающего инфракрасных лучей. Столь же непроницаемыми можно сделать части фотоаппарата и кассеты, если оклеить их обычной черной фотографической бумагой, содержащей сажу, которая поглощает инфракрасные лучи.

НАВОДКА НА ФОКУС

Для правильной наводки на фокус следует учитывать, что фокусное расстояние объективов для инфракрасных лучей оказывается иным, чем для лучей видимых: красных, оранжевых и т. д.

Если пропустить пучок белого света через простую линзу, можно увидеть, что лучи более преломляемые — фиолетовые и синие — сильнее отклоняются к главной оптической оси и

образуют на ней фокус; лучи желтые отклоняются несколько менее и также создают свой фокус, более удаленный от линзы, и, наконец, красные и инфракрасные лучи отклоняются еще меньше, образуя на главной оптической оси свои фокусы, все более и более удаленные от линзы (рис. 12).

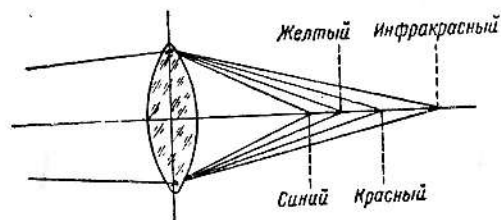


Рис. 12. Фокусное смещение в простой линзе

Максимум спектральной чувствительности человеческого глаза лежит при 550 м μ , т. е. в области желтых лучей, и глаз непроизвольно наводит на фокус желтых лучей. Очевидно, при подобной фокусировке изображение для инфракрасных лучей окажется не в фокусе.

Этот недостаток простой линзы устранен в специальных объективах. Так, например, в ахроматах обычно соединен фокус синих лучей — при 434 м μ и желтых лучей — при 589 м μ , а в апохроматах соединены фокусы от синих до красных лучей — от 434 до 656 м μ .

Эти корригированные объективы используются для съемки в видимых лучах.

Имеются также объективы, в которых соединены фокусы видимых и инфракрасных лучей,

однако эти объективы редки, дороги, применяются лишь для специальных целей, и в огромном большинстве случаев работы по инфракрасному фотографированию производятся объективами обычного типа.

Зависимость изменения фокусного расстояния, например для объектива Фохтлендера с



Рис. 13. Фокусные расстояния объектива Фохтлендера $F = 10,5$ см для различных длин волн

фокусным расстоянием в 10,5 см при последовательной наводке на фокус желтых, оранжевых, красных и инфракрасных лучей, приведен на рис. 13 *. Кривая показывает, что смещение фокуса от желтых до инфракрасных лучей равно всего 0,4 мм. Эта величина означает, что после наводки изображения по матовому стеклу на фокус желтых лучей матовое стекло следует отдалить от объектива на 0,4 мм, чтобы навести на фокус инфракрасных лучей.

* Напомним, что все данные, приводимые о фокусном смещении, относятся к случаю наводки на бесконечность.

Для различных объективов величина фокусного смещения — от видимого фокуса до инфракрасного — будет различной, что показано в табл. 8.

Таблица 8

Величина фокусного смещения для различных
объективов

Объектив	Светосила	Фокусное расстояние (в см)	Фокусное смещение	
			(в мм)	(в %)
"Эктар" Кодака	1/3,7	10,5	0,1	0,095
" " " " " "	1/4,5	10,1	0,1	0,099
" " " " " "	1/4,7	12,7	0,1	0,079
"Эктар" Истмена	1/6,3	21,6	0,2	0,093
" " " " " "	1/6,3	25,4	0,3	0,118
" " " " " "	1/6,3	30,5	0,4	0,131
" " " " " "	1/6,3	35,6	0,8	0,225
"Анастигмат" Истмена	1/4,5	14,0	0,3	0,214
" " " " " "	1/4,5	16,2	0,6	0,370
" " " " " "	1/4,5	19,1	0,7	0,366
" " " " " "	1/4,5	21,6	0,8	0,370
" " " " " "	1/4,5	25,4	0,8	0,315
" " " " " "	1/4,5	30,5	1,2	0,394

Табл. 8 показывает, что чем длиннее фокусное расстояние, тем больше величина фокусного смещения. Это правило, однако, не является общим, и для точных работ величину фокусного смещения для каждого объектива следует определять экспериментально.

В таблице приведены также величины фокусного смещения в процентах от фокусного расстояния. Эта величина колеблется от 0,095 до

0,394%. Опытная проверка фокусного смещения у большого числа современных объективов показала, что максимальное смещение колеблется от 0,5 до 1% фокусного расстояния, а в большинстве случаев не превосходит 0,35% фокусного расстояния.

Практически эти величины фокусного смещения очень невелики. Так, например, для «Роллейфлекса» 6×6 см, оснащенного «Тессаром» Цейса с фокусным расстоянием в 7,5 см, это удлинение будет равно около $\frac{1}{3}$ мм. Если применяют короткофокусный объектив, фокусной разницей можно вообще пренебречь.

Вывод I. В обычной практической инфракрасной съемке при использовании фотообъективов со средними и короткими фокусными расстояниями (меньшими 7,5 см), при съемке удаленных предметов и наводке на бесконечность фокусную разницу можно вообще не учитывать. В этом случае наводят на фокус при помощи видимых (желтых) лучей, а затем диафрагмируют, например до 1:9 или даже 1:12,5, чем и достигают резкого изображения.

Для объективов, у которых фокусное расстояние больше 7,5 см, влияние фокусной разницы можно установить следующим образом.

Фокусируют изображение на матовом стекле и производят съемку сначала на обычных фотографических слоях, а затем на инфракрасных с темно-красным фильтром, не меняя при инфрасъемке положения объектива. После проявления сравнивают между собой негативы, а еще лучше — позитивные отпечатки с

этих негативов. Если и в этом случае затруднительно заключить о нерезкости инфракрасного изображения по сравнению с обычным снимком, — увеличивают оба изображения и вновь производят оценку. Если же на инфраснимке имеется нерезкость, то одним из способов, рассмотренных ниже, устанавливают положение объектива, необходимое для точного фокусирования, при котором и производят все дальнейшие инфрасъемки.

Для проведения точных съемок исправление фокусировки обычных объективов можно производить следующими способами:

1) Фокусирование через красный светофильтр. Помещают перед объективом светло-красный фильтр и фокусируют изображение на матовом стекле. При подобной наводке яркость изображения на стекле уменьшается, вследствие чего фокусирование должно производиться при полном отверстии. Когда достигнута резкая наводка, светло-красный фильтр заменяют требуемым фильтром, объектив диафрагмируют в желаемой степени и производят съемку.

Этот метод вполне пригоден для случаев, когда используемые пластинки чувствительны только к ближнему инфракрасному и когда объектив имеет относительно короткое фокусное расстояние. Подобный способ наводки особенно удобен для ландшафтной и медицинской съемки.

2) Метод пробной наводки. Производят ряд пробных съемок на последовательно нумерованных фотопластинках, чувствительных к инфракрасному, с установкой перед

объективом требуемого красного или черного фильтра. С этой целью устанавливают объектив на положение точного визуального фокуса (т. е. без фильтра), помещают перед объективом инфракрасный фильтр и производят съемку на инфрапластинке. Затем вставляют в аппарат другую кассету, раздвигают мех фотоаппарата на небольшое расстояние и на новой инфрапластинке вновь производят съемку. Таким образом, производят ряд снимков, отмечая каждый раз на шкале расстояний фотоаппарата новое положение объектива. Все заснятые пластинки проявляют и определяют по ним положение объектива, дающее наилучшую фокусировку. Это положение отмечают на шкале расстояний и при нем производят все последующие инфрасъемки на данном сорте пластинок.

Метод рационален при съемке на инфрахроматических материалах, очувствленных к далекому инфракрасному, а также при инфракрасном микрофотографировании. Этим способом, в частности, получены данные табл. 8.

3) Прием, используемый в микрофотографии. Первоначально наводят на фокус через зеленый светофильтр (с зоной пропускания между 520 и 580 мμ) и отмечают соответствующее положение микрометрического винта. Затем производят наводку через красный светофильтр (с зоной пропускания выше 620—630 мμ). Эту наводку осуществляют поворотом одного лишь микрометрического винта. Чтобы навести на фокус инфракрасных лучей, поворачивают микрометриче-

ский винт далее в том же направлении, в котором его вращали при переходе от зеленого к красному фильтру, на число делений вдвое большее, чем расстояние от зеленого до красного фокуса. Пусть положение микрометрического винта при фокусировке через зеленый фильтр на шкале отсчета будет равно 12, а фокус под красным фильтром будет соответствовать 28. Фокус инфракрасных лучей в этом случае будет: $28 + (28 - 12) \times 2 = 60$.

Подобная корректировка пригодна для большинства, но не для всех объективов*.

Вывод II. При проведении точных, научных инфрахроматических съемок или микрофото-съемок, при использовании длиннофокусных объективов (с фокусом более 7,5 см), а также съемок близко расположенных предметов (в натуральную величину или с увеличением) следует определить величину фокусного смещения одним из изложенных выше методов. При съемке следует произвести наводку на установленный фокус инфракрасных лучей (т. е. на установленную величину фокусного смещения).

ЭКСПОНИРОВАНИЕ

Уже говорилось, что фотографирование на инфрахроматических слоях следует производить только с фильтрами, тогда как на орто- и панхроматических слоях съемку можно производить как с фильтрами, так и без них. При

* Об этом методе см. Н. Науманн, О микрофотографировании в инфракрасном, Zeitschrift für Instrumentenkunde, т. 54 (1934), стр. 236—241.

экспонировании инфрахроматических материалов применяют красные или инфракрасные фильтры, а если их нет, — любые другие фильтры, поглощающие сине-фиолетовые лучи, т. е. оранжевые и темно-желтые фильтры.

При экспонировании на открытом воздухе наряду со многими другими факторами (например, высота солнца) экспозиция зависит также от облачности и от наличия в воздухе дымки и тумана.

При съемке в видимых лучах на панхроматических материалах для определения экспозиции имеет существенное значение, будут ли облака белыми и светящимися, отражающими много видимых лучей, или темными, поглощающими эти видимые лучи. Этого различия не существует при съемке на инфрахроматических слоях. Зрительные впечатления не играют никакой роли в оценке пропускаемости инфракрасных лучей облаками; проникаемость светлых или темных облаков зависит от их состава и весьма часто бывает одинаковой.

Экспозиция при светлых облаках и легкой дымке может быть практически такой же или незначительно длиннее, чем при безоблачном небе и при полном отсутствии дымки. Напротив, при сильной облачности приходится экспонировать значительно дольше — в 4 раза и больше.

Экспозицию нужно сильно увеличивать также в том случае, если фотографировать объект, находящийся в тени, а не на прямом солнечном свете. Прямой солнечный свет очень богат инфракрасными лучами, но синее небо, сильно рассеивающее коротковолновые сине-фиолето-

вые лучи, не рассеивает длинноволновые лучи, и поэтому объект, находящийся в тени, обычно плохо освещен инфракрасными лучами.

Отметим одновременно, что инфракрасные лучи хорошо проходят сквозь газовую дымку, но очень плохо проникают сквозь влажные густые облака и влажный туман. Вода, особенно

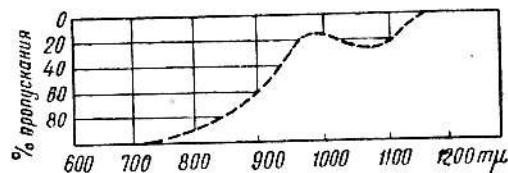


Рис. 14. Кривая пропускания слоя воды толщиной в 4 см

в толстых слоях, довольно сильно поглощает инфракрасные лучи, о чем можно судить по рис. 14. Поглощение начинается при длине волны 800 мкм и сильно возрастает к 1000 мкм.

Это обстоятельство и объясняет невозможность инфракрасного фотографирования сквозь влажный туман или дождевую завесу.

Хотя и затруднительно точно рекомендовать экспозицию при инфракрасной съемке в облачный день, однако С. Раулинг (лаборатория Итьфорд) выдвигает следующее правило, которое в основном подтверждается практикой: «Для инфракрасных материалов нормальную экспозицию, используемую при «хорошей погоде», следует увеличивать в облачные дни в четыре раза, а в пасмурные дни — в восемь и более раз — по необходимости».

Для обычных (не инфрахроматических) материалов эти коэффициенты будут равны 2 и 4.

Измерениями интенсивности солнечного излучения в видимой и инфракрасной части спектра установлено, что между ними нет никакого соответствия. Поэтому при инфрасъемке на воздухе нецелесообразно использование экспонометров, предназначенных для видимых лучей. Рекомендуются ими экспозиции для инфракрасного фотографирования будут просто неверными. Экспонометры специально для инфракрасного фотографирования хотя и были изготовлены, распространения не получили (16).

В то же время при съемке с искусственным светом (лампы накаливания, дуги и пр.) обычные экспонометры для определения экспозиции применять можно, так как для каждого данного источника света отношение количества видимого света к инфракрасному будет величиной постоянной.

Экспозиция зависит от светочувствительности инфрахроматических материалов, а последняя в свою очередь — от зоны спектральной чувствительности и от сроков изготовления фотослоя. В связи с этим была предложена следующая примерная эмпирическая зависимость: если сопоставить относительное время экспозиции для пластинок панхроматических и инфрахроматических с максимумами 710, 855 и 950 мμ, то оно выразится отношением 1:10:100:10 000.

В случае применения источника искусственного света экспозиция зависит от характера источника. Например, при применении угольной лампы накаливания необходима примерно

в 3 раза большая экспозиция, чем при применении полувагтной лампы той же мощности.

При аэросъемке следует помнить, что экспозиция зависит также от температуры. Если принять за единицу выдержку при 20°C, то для различных температур получаются следующие коэффициенты:

+20°C	-20°C	-40°C	-60°C
1	2,5	4	11

В научных съемках при экспонировании часто используются источники света, сильно отличающиеся по интенсивности. Так, например, при астрономических съемках интенсивность света звезды крайне мала, а при съемках с лампой-вспышкой она весьма значительная. В этом случае будет изменяться также и фактическая чувствительность фотослоя (табл. 9).

Таблица 9
Изменение чувствительности пленок при экспонировании для различных уровней освещенности (в относительных единицах)

Сорт пленки	Обычная фото- графическая съемка $E=2 \text{ м-св}$	Спектроскопиче- ская съемка $E=0,1 \text{ м-св}$	Астрономиче- ская съемка $E=0,0001 \text{ м-св}$
Три-Х-панхром	640	520	82
Супер-XX-панхром . .	250	180	23
Плюс-Х-панхром . . .	125	110	16
Инфрапленка плоская .	25	15	1,3

Интенсивность освещения E дана в таблице в метр-свечах ($м-св$), т. е. в единицах освещенности, создаваемой источником с силой света в одну свечу на расстоянии одного метра. В таблице сравниваются уровни интенсивности света при экспозициях, используемых при обычной фотографической съемке, при спектроскопических и астрономических работах.

Табл. 9 показывает, что падение чувствительности инфрахроматических пленок в зависимости от интенсивности (E) использованного света будет весьма велико для инфрапленки, рассматриваемой в табл. 7, — в $\frac{25}{1,3} = 19,3$ раза и значительно меньше для панхроматических пленок (для Три-Х — в $\frac{640}{82} = 7,8$ раза и для Супер-XX — в $\frac{250}{23} = 10,9$ раза)*.

Все это многообразие факторов весьма трудно привести в единую систему и представить в виде той или иной экспонометрической таблицы.

При съемке на инфрахроматических материалах экспозицию необходимо определять опытным путем. С этой целью можно рекомендовать следующий прием подбора экспозиции.

Внутреннюю часть задвижки кассеты карандашными отметками делят на восемь равных частей таким образом, чтобы при постепенном

* Подобные характеристики для отечественных панхроматических пленок приведены в цитированном справочнике (ред. проф. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилева) (6).

выдвигании движка до каждой отметки пластинка по длине была бы разделена на восемь равных частей. В размеченную таким образом кассету помещают инфрапластинку и вставляют кассету в фотоаппарат. Выбирают ориентировочное время экспонирования, например $\frac{1}{2}$ секунды. Выдвигают движок кассеты до первой карандашной отметки и экспонируют $\frac{1}{2}$ секунды, а затем выдвигают до второй отметки и экспонируют еще $\frac{1}{2}$ секунды и т. д. до последней, восьмой, отметки.

Таким образом, последняя полоса получила экспозицию в $\frac{1}{2}$ секунды, в 2 раза превосходящую предварительно выбранную, а на следующих полосах все большие экспозиции, равные 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 секундам.

После проявления получается негатив, состоящий из восьми полос различной плотности, и, если не было допущено грубой ошибки, одна из полос будет соответствовать нормальной экспозиции.

Подобный же способ можно использовать при работе с кинопленкой или с роликовой пленкой. Следует указать, что метод применим лишь для данных конкретных условий съемки.

Для материалов, сенсibilизированных к далекой инфракрасной области, экспозиция должна быть весьма значительной, причем фотоматериал предварительно целесообразно гиперсенсibilизировать.

Примерная схема установки света и фотоаппарата для съемки при искусственном освещении приведена на рис. 15.

Для конечного фотографического эффекта

будет совершенно безразлично: установить ли съемочный (красный или инфракрасный) светофильтр перед объективом фотоаппарата (как это показано на рис. 15) или же перед источником света. Практически проще исполь-

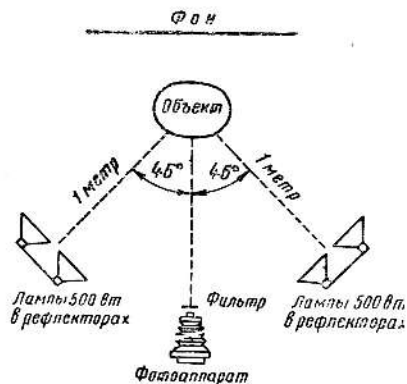


Рис. 15. Установка света и фотоаппарата при фотографировании в инфракрасных лучах

зовать светофильтры, устанавливая их перед объективом.

ПРОЯВЛЕНИЕ И ФИКСИРОВАНИЕ

Проявление и фиксирование инфрахроматических материалов производится в тех же условиях и с применением той же рецептуры, что и для панхроматических слоев. Следует помнить лишь, что при проведении научных съемок на инфрахроматических слоях желательно иметь изображение с высоким контрастом и малой вуалью. Исходя из этого, следует выбирать ус-

ловия обработки инфрахроматических фотоматериалов.

В качестве контрастного и чисто работающего проявителя можно использовать концентрированный проявитель*, рецепт которого приводится ниже.

Концентрированный проявитель

Метол	2 г
Гидрохинон	10 »
Сульфит безводный	52 »
Сода безводная	40 »
Калий бромистый	4 »
Вода	до 1 л

Этот же проявитель можно приготовить в виде четырех растворов и затем смешать их:

- а) метол—6 г, сульфит безводный—26 г;
- б) гидрохинон—30 г, сульфит безводный—130 г;
- в) сода безводная—120 г;
- г) бромистый калий—200 г.

В каждом случае воды берут 1 л. Смешивают равные объемы растворов «а», «б» и «в» и добавляют к ним раствор бромистого калия в таком количестве, чтобы иметь 4 г бромистого калия в 1 л проявителя. Так, например, если смешать по 500 мл растворов «а», «б» и «в», то к 1,5 л смеси следует добавить 30 мл раствора «г» (бромистого калия).

Такой проявитель дает контрастное изображение с малой вуалью. При желании получить еще больший контраст следует ввести в него

* В. Я. Михайлов, Руководство по фотолабораторным работам, Геодезиздат, 1954, стр. 59.

5 г едкого натрия или едкого кали на 1 л раствора.

Если желательно иметь менее контрастное изображение, то проявитель надо разбавить водой в отношении 1:1 или 1:2, а бромистого калия взять 1 г на 1 л разбавленного раствора.

При разбавлении 1:1 и добавлении 1 г бромистого калия получают проявитель Чибисова.

Проявитель Чибисова

Метол	1 г
Гидрохинон	5 »
Сульфит натрия (безводный)	26 »
Сода безводная	20 »
Бромистый калий	1 »
Вода	до 1 л

Для проявления пластинок Инфрахром 760, 840 и 880 Ю. Н. Гороховский и С. С. Гилев (см. цитированный справочник) рекомендуют проявитель Чибисова. Кривые кинетики проявления этих пластинок в данном проявителе приведены на рис. 16. Для этих пластинок время проявления (до рекомендуемой гаммы 1,3) для Инфрахрома 760 — 3,5 минуты, а для Инфрахрома 840 и 880 — 3,0 минуты. Для достижения максимальных гамм, равных 2,0; 1,6 и 1,6 (для трех сортов), время проявления соответственно составляет: 3,5; 3,0 и 3,0 минуты.

Некоторые авторы считают, что при проявлении инфрахроматических материалов нет необходимости применять специальный проявитель, причем короткое сильное проявление полезнее, чем длительное, малоинтенсивное.

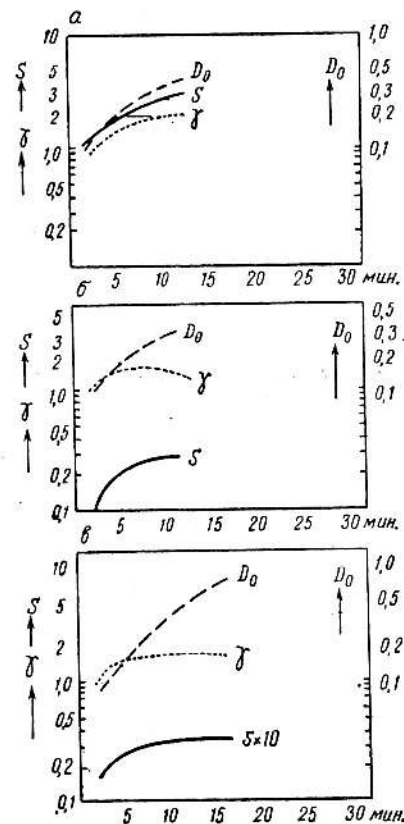


Рис. 16. Кривые кинетики проявления пластинок Инфрахром 760 (а); Инфрахром 840 (б) и Инфрахром 880 (а)

Для получения более сильного контраста проявление инфрахроматических слоев рекомендуют проводить так же, как слоев панхроматических, с прибавлением в проявитель немного большего количества бромистого калия.

В то же время снимки пейзажей, «лунного» эффекта и т. д. рационально проявлять в мелкозернистом проявителе, например в Д-76.

Проявление ведут или в полной темноте, или с контролем проявления. Для контроля проявления используют:

а) неактиничный свет фонаря для лабораторных работ (например, с жидким фильтром, состоящим из раствора медного купороса и двуххромовокислого калия) или

б) десенсибилизатор и зеленый лабораторный фильтр (такой же, как в случае аналогичного проявления панхроматических материалов, или более светлый).

Проявление при точных работах различного типа, как правило, проводят с десенсибилизатором.

Для этого инфрахроматические пластинки купают перед проявлением 3 минуты в растворе пинакриптола зеленого 1 : 20 000. (т. е. 0,5 г на 1 л воды) или пинакриптола желтого 1 : 3000 (0,33 г на 1 л воды).

Десенсибилизация полезна для инфраматериалов, очувствленных к далекому инфракрасному (например, 850 — 950 мμ); проявление производится при зеленом свете. При отсутствии десенсибилизатора проявление этих слоев должно проводиться в полной темноте.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ НА ПАН- И ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Для лучшего показа особенностей фотографической передачи в инфракрасных лучах во многих случаях рядом с инфраснимком помещают снимок того же объекта, сделанный в видимых лучах. В большинстве случаев сопоставление оказывается полезным, наглядно выявляя те детали передачи в инфракрасных лучах, которые и определяют ее преимущество по сравнению с передачей в видимых лучах. Следует только уточнить, в каких именно лучах видимого спектра нужно производить съемку для сравнения со снимками в инфракрасных лучах.

Во многих работах по инфракрасному фотографированию (например, по фотографированию кожных покровов) сравнение производилось с фотографиями, снятыми на несенсибилизированных слоях.

Подобное сопоставление нельзя признать объективным, так как в сине-фиолетовой части спектра области светочувствительности несенсибилизированных пластинок с максимумом при 452 мμ чувствительность глаза очень мала, а синие лучи обладают совершенно иной отражательной и поглощательной способностью, чем интегральный лучистый поток, воспринимаемый нашим глазом. В результате подобного сравнения изображение, снятое на несенсибилизированной пластинке, совершенно не соответствует зрительному впечатлению от объекта и в то же время преувеличенно подчеркивает специфику съемки в инфракрасных лучах.

ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ РАЗРУШЕНИЯ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ

Кроме рассмотренного выше способа получения инфрафотографий имеется также другой способ, основанный на образовании скрытого изображения. Способ заключается в получении на пластинке скрытого изображения при помощи общей засветки и последующем разрушении его длинноволновыми, например инфракрасными, лучами («эффект Гершеля»).

Практически метод осуществляется следующим образом.

В качестве светочувствительного материала используют преимущественно малочувствительные слои (позитивные, фототехнические), на которых получают лучшие результаты, чем на высокочувствительных негативных слоях.

Пластинку или пленку засвечивают по всей поверхности короткое время, 1—2 секунды, на расстоянии 30—40 см светом 5-вольтовой лампы.

Затем пластинку купают в растворе того или иного десенсибилизатора, например: в растворе феносафранина (1:3000), содержащем 1—2% бромистого калия, — 2 минуты или в растворе пинакриптола зеленого (1:20 000) — от 5 до 10 минут.

После купания пластинку ополаскивают в воде и высушивают. Высушенную пластинку опускают в 1%-ный раствор бромистого калия на 10 минут, затем снова ополаскивают и сушат.

Высушенную пластинку помещают в спектроскоп и экспонируют на нее тот или иной инфра-

Не вполне объективно также будет сравнение со снимками, произведенными на ортохроматических материалах (с фильтром и в особенности без фильтра). Исключение красных лучей при формировании изображения порой не дает возможности определить, какими лучами — красными или инфракрасными — был вызван полученный эффект, и тем самым определить необходимость фотографирования в инфракрасном. Некоторые инфраэффекты, обычно относимые за счет инфракрасных лучей, в действительности — частично или полностью — производятся уже дальними красными лучами видимой части спектра, которые, однако, нужно точно отфильтровывать. Так, например, «эффект лунного света» (см. ниже) получается на материалах, очувствленных как к дальней красной части видимого спектра с максимумом при 700—720 мμ, так и к инфракрасной области.

Во всякой объективной работе по инфракрасному фотографированию сравнение следует производить со снимками, сделанными на материалах, светочувствительность которых идентична спектральной чувствительности глаза. Выше уже указывалось, что максимум спектральной чувствительности глаза находится в желтой части спектра при 555 мμ. При фотографической съемке цветочувствительность, приближающуюся к чувствительности глаза, можно получить, снимая на панортохроматических материалах со слабым желтым фильтром. На таких материалах и следует производить снимки, используемые в качестве сравнительных к снимкам инфракрасным.

красный спектр. Эта экспозиция бывает обычно долгой — от нескольких часов до нескольких суток — и приводит к уничтожению в освещаемых инфракрасными лучами участках первоначального скрытого изображения (от общей предварительной засветки).

Экспонированную пластинку проявляют, получая таким образом обращенное, т. е. светлое изображение спектра на темном фоне.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФРАСЪЕМКИ

ПЕРЕДАЧА ЗЕЛЕНИ

На самых ранних снимках в далеких красных и инфракрасных лучах было обращено внимание на необычную передачу зелени деревьев, листьев, кустарников, трав и т. д. В видимых лучах зелень выходит сравнительно темной, примерно такой же темной, какой она воспринимается глазом. В то же время в инфракрасных лучах зелень передается белой, точно осыпанной снегом (фото 2 и 3). Это различие в передаче зелени объясняется следующим образом. Листья сравнительно сильно поглощают видимые лучи, вследствие чего в тех местах негатива, которые соответствуют зелени, лишь малая часть лучей подействует на фотопластинку, создавая слабое почернение, а при печати на позитиве, напротив, образуется довольно значительное почернение. Иную картину мы имеем при съемке в инфракрасных лучах; эти лучи сильно отражаются от стенок ячеек листа деревьев, образуя интенсивное почернение на

негативе и, наоборот, очень слабое почернение на позитиве, вследствие чего листва передается на позитиве светлой.

Ясное представление об этом соотношении дает типичная кривая отражательной способности зеленой листвы в видимой и в инфракрасной области (рис. 17). Участок *a* — зона сла-

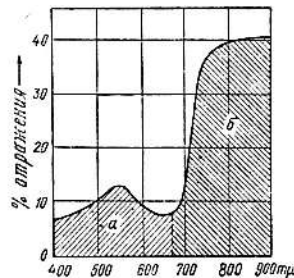


Рис. 17. Кривая отражения зеленой листвы в видимой и инфракрасной части спектра

бой отражательной способности зеленой растительности (10% отражения) — соответствует обычной зоне спектральной чувствительности панхроматических слоев; участок *б* — зона интенсивного отражения лучей зеленой растительностью (40% отражения) — соответствует зоне спектральной чувствительности инфракрасных слоев. Кривая одновременно является типичной для всех красителей, пигментов и объектов, которые на инфраматериалах передаются более светлыми, чем в видимых лучах.

Эта особенность инфрафотографии дает возможность получать интересные и необычные

снимки зеленых покровов. В то же время на инфракрасных снимках гор, долин и т. п., когда добиваются натуральной передачи всего пейзажа, съемки зелени следует избегать, так как она придает пейзажу неестественный вид.

СЪЕМКА ДАЛИ

При съемке сквозь дымку горных пейзажей, равнин и лугов применение инфракрасных материалов приводит к ясной проработке далей. Съемка на инфрахроматических слоях повышает дальность видения, контраст изображения и благодаря иной отражательной способности различных объектов для инфракрасных лучей, выявляет множество деталей, глазом практически неразличимых. Вследствие этого на инфраматериалах и достигается гораздо лучшая передача дали, чем на всех фотографических материалах, очувствленных к видимым лучам спектра (фото 4 и 5).

Для съемок дали применяют фотоматериалы с максимумами сенсibilизации от 750 (или даже от 700 мμ) до 850 мμ. Использование инфрахроматических материалов с максимумами сенсibilизации выше 850 мμ, в особенности в комбинации с плотным светофильтром, менее целесообразно.

Следует напомнить, что, как правило, в этих случаях сильно удлиняется экспозиция. Кроме того, наблюдается интенсивное поглощение инфракрасных лучей влажным туманом и водяными парами (см. рис. 14). Вследствие этого желательное улучшение качества передачи дали при съемке на инфрахроматических материалах в большинстве случаев достигнуто не будет.

Инфрахроматическая съемка весьма важна, в частности, для географических и в особенности для гидрографических исследований. На инфрафотографиях озера и реки передаются черными, а берега относительно светлыми с резким контурированием береговой полосы. Подобной графически точной передачи водной поверхности на панхроматических материалах достигнуть невозможно.

«НОЧНОЙ», или «ЛУННЫЙ», ЭФФЕКТ

При фотографировании пейзажей в инфракрасном наблюдаются следующие особенности по сравнению с фотографированием в видимых лучах:

зеленая листва, воспроизводимая на обычных фотографиях темной, передается на инфракрасных материалах светлой, почти белой;

небо на инфракрасных снимках выглядит очень темным, почти черным*;

вода, передаваемая на обычных снимках более или менее светлой, на инфраснимках воспроизводится черной вследствие поглощения водой инфракрасных лучей;

тени вследствие слабого рассеяния инфракрасных лучей передаются более темными, почти черными.

* Причина этого явления заключается в следующем: красные и инфракрасные фильтры, применяемые при инфрасъемке, полностью поглощают сильно рассеиваемые, воздействующие на фотопластинку сине-фиолетовые лучи; в темно-голубом небе инфракрасные лучи атмосферой почти не рассеиваются, и участки с изображением неба на инфрапластинке (негативе) имеют очень малую засветку и малую плотность, а на позитиве дают большое почернение.

Все эти особенности дают возможность получить на инфраматериалах «ночной», или «лунный», эффект, заключающийся в том, что съемка природных объектов или зданий на ярком солнечном свете создает впечатление пейзажа, снятого ночью и залитого не солнечным, а лунным светом. Пример подобной съемки приведен на фото 6 и 7.

Для получения «лунного» эффекта пригодны любые фотослои, чувствительные в зоне между 700 и 850 мμ (см. таблицу 5). Нет никакого преимущества в использовании больших длин волн, так как сущность эффекта от этого изменится мало, а экспозицию приходится сильно удлинять. При съемке можно применять любой из светофильтров, используемый при обычной инфрасъемке, поглощающий синие и пропускающий красные лучи, например красный светофильтр КС-14.

Весьма часто на инфраснимках, производимых при солнечном свете, горизонт при почти черном тоне неба прорабатывается светлее, чем небо, что нарушает впечатление лунного света. Эта светлая проработка неба около горизонта зависит от значительно большего количества мельчайших частиц воды и пыли над поверхностью земли, чем на больших высотах. Для устранения этого недостатка при воспроизведении «лунного» света желательно снимать объекты, или полностью закрывающие горизонт, или же с горизонтом, расположенным как можно выше. В таких снимках следует избегать съемку дали и, напротив, целесообразно снимать предметы, расположенные возможно ближе и находящиеся в одной плоскости.

При воспроизведении «лунного» света важно, чтобы небо было безоблачным. Облака на инфрахроматических снимках передаются очень светлыми и могут полностью нарушить иллюзию ночного снимка, так как в лунную ночь они кажутся для глаза относительно темными.

Впечатление лунного света усиливается, если снимают пейзаж с ярко освещенными постройками, памятниками, развалинами и т. д.

При съемках, проводимых при солнечном свете, необходимо экранированием при помощи бленды и созданием тени защитить объектив от попадания в него прямых солнечных лучей. При экспонировании предпочтительна передержка, чем недодержка, так как передержку можно исправить проявлением, чего нельзя сделать с недодержанными негативами.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ОКРАШЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Многие красители обладают в инфракрасной части спектра иной отражательной способностью, чем в видимых лучах. Это обстоятельство дает возможность анализировать в инфракрасных лучах черные и темные материалы и выявлять контрасты, не различимые для обычных фотографических материалов и для глаза. Так, например, многие ткани, окрашенные темными красителями (черными, темно-синими, коричневыми), в инфракрасных лучах прорабатываются светлыми. Об этом можно судить по фото 8, на котором приведен ряд фотографий черных тканей, причем в левой колонке — изображения черных тканей, снятых на панхроматическом материале, а в правой — изображения

тех же тканей, снятых на инфрахроматическом материале. Ряд образцов черных тканей выглядит на инфрафотографиях светлыми, почти белыми. Это обстоятельство дает возможность установить на темных тканях качество покраски, наличие примесей, особенностей структуры и пр., для глаз совершенно не различимых.

Различие в отражательной способности (красок, чернил и пр.) между видимыми и инфракрасными лучами дает возможность анализировать при помощи инфракрасной съемки произведения живописи, устанавливать наличие ранних записей, подписей и отличать оригиналы от подделок.

Аналогичным образом можно восстановить изображения и тексты, испачканные чернилами и красками. Так, например, на фото 9 и 10 воспроизведен документ, залитый чернилами, через которые текст стал фактически неразличимым. При фотографировании того же документа на инфрахроматических материалах текст восстанавливается практически полностью вследствие проницаемости этих чернил для инфракрасных лучей.

Фото 11 сделано на панхроматической пленке; сфотографирован очень старый кусок кожи с еле различимыми следами надписи, прочесть которую, казалось, было совершенно невозможно.

На фото 12 представлена фотография того же объекта на инфрахроматической пленке — различия в отражательной способности фона и надписи стали более отчетливыми, и надпись проработалась ясно.

Если при репродуцировании желательно устранить на снимаемом оригинале пятна, полосы, кляксы, желтизну и в наилучшей степени восстановить первоначальный, наиболее целостный вид изображения, репродуцирование следует производить не в видимых, а в инфракрасных лучах.

Улучшение качества изображения с устранением его дефектов достигается при репродуцировании в инфракрасных лучах гравюр, рисунков, фотографий, дагеротипов и т. д.

Репродукция в инфракрасном позволяет полностью снять или значительно ослабить различные пятна и загрязнения на поверхности изображений, одновременно высветлить фон и повысить контраст изображения, сделав его во всех частях ясным, четким и легко просматриваемым.

На многих рисунках и гравюрах образуются желтые пятна, которые хорошо прорабатываются на орто- и панхроматических слоях, сильно затемняя детали. На инфраснимках эти пятна исчезают и фон высветляется.

Поразительные результаты достигаются при репродуцировании дагеротипов (фото 13, 14). От времени и воздействия воздуха дагеротипы часто покрываются матовым налетом, от которого изображение становится неразличимым. Репродуцированием в инфракрасном часто полностью восстанавливают первоначальное изображение. Норвежский ученый Б. Свенониус, впервые получивший подобные изображения, объясняет это явление тем, что в инфракрас-

ных лучах между отражательной способностью серебра (темные участки на дагеротипах) и серебряной амальгамы (светлые места дагеротипа) существует отчетливая разница, вследствие чего инфракрасные лучи легко проникают сквозь матовый слой и воссоздают первичное изображение.

Следует указать, что участки изображений, покрытые черной типографской краской или красителями, содержащими сажу, не устраняются на инфракрасных фотографиях, так как эти пигменты поглощают инфракрасные лучи.

Для репродуцирования гравюр, рисунков, фотографий и дагеротипов их следует освещать прямым солнечным светом или одной-двумя лампами накаливания и затем сильно диафрагмировать.

Съемку надо производить с красным фильтром КС-14 или с другими темно-красными фильтрами на контрастных пластинках Инфрахром 760 или Инфрахром 810.

ИНФРАКРАСНАЯ ФОТОГРАФИЯ В МЕДИЦИНЕ

Инфракрасные лучи проникают в мышечную ткань человеческого тела на 5—8 мм, т. е. значительно глубже, чем лучи видимые. Это обстоятельство дает возможность фотографировать в инфракрасных лучах венозную систему, расположенную близ кожных покровов с гораздо большей отчетливостью, чем в лучах видимых (фото 15, 16). Подобные снимки производят под красным фильтром (например, КС-14) при освещении объекта двумя лампами по 500 вт, расположенными по обе стороны

от аппарата, как это представлено на рис. 15. Целесообразнее подобные снимки производить на фотопластинках или пленках среднего или крупного формата (9×12 или 13×18 см) и печатать на фотобумагу контактным способом. Снимать же на малые форматы аппаратами типа «Киев» нерационально, так как при увеличении четкость передачи деталей несколько уменьшается.

Другим примером применения инфракрасной фотографии в медицине может служить съемка внутренней поверхности глаза через его замутненную оболочку.

Съемка в инфракрасных лучах во многих случаях помогает установлению диагноза болезней.

СЪЕМКА В ТЕМНОТЕ

Инфрахроматические материалы дают возможность производить съемки в темноте, т. е. съемки объектов, освещенных невидимыми инфракрасными лучами, при полном исключении всего видимого света.

Для подобной съемки целесообразно использовать инфрахроматические материалы с максимумами сенсibilизации, находящимися между 800 и 850 мμ. Действительно, применять фотослой, оцувствленные к более коротким волнам, например Инфрахром 700 или Инфрахром 750, для съемки в темноте невозможно, так как они требуют использования не черного фильтра, поглощающего все видимые лучи, а красного фильтра, через который проходят видимые красные лучи, и тем самым нарушается принцип темновой съемки.

Не имеет смысла также применять для подобных съемок материалы, оцувствленные к большим длинам волн, как, например, Инфрахром 900, Инфрахром 950 и т. д. Чувствительность их обычно невелика, и экспозиции при съемке вследствие этого должны быть очень большими.

Инфраслой перед съемкой в темноте полезно гиперсенсibiliзировать, чтобы иметь материалы с максимальной светочувствительностью.

Для съемки применяют черные светофильтры, которые должны поглощать видимый свет полностью. Эти светофильтры устанавливают на источниках света. Лишь в этом случае объект будет освещен действительно инфракрасными невидимыми лучами.

Для освещения снимаемых объектов используют мощные излучатели. Так, например, для 100 м^2 пола необходимо установить 20 ламп по 500 вт каждая, т. е. 1000 вт на каждые 10 м^2 .

Для съемок в темноте на пластинках с максимумом сенсibiliзации при 855 $\text{м}\mu$ при использовании лампы в 500 вт, закрытой черным фильтром, и фотографировании объекта на расстоянии 2 м аппаратом с объективом 1 : 4,5 экспозиция равняется 3—5 секундам. Тот же материал после гиперсенсibiliзации требует экспозиции в 0,5—1 секунду.

Для фотографирования в темноте во многих случаях удобно применять лампы-вспышки, закрытые черным фильтром.

Выше рассматривались примеры фотографирования в темноте с использованием в качестве источника света ламп накаливания или ламп-

вспышек. Однако снимки в темноте можно производить также при излучателях, слегка нагретых, но кажущихся в темноте совершенно невидимыми, хотя и испускающими темновые инфракрасные лучи. В качестве такого «темнового излучателя» используют тело, температура которого лежит ниже красного каления, но которое излучает инфракрасные лучи, как, например, слегка нагретые спираль электроплитки, электроутюг, металлический стержень и т. д. Если мы будем экспонировать самый излучатель, например нагретый утюг, то экспозиция будет сравнительно короткой, но если этим излучателем будет освещено другое тело, например скульптура, то время экспозиции может достигнуть нескольких часов.

Инфракрасное фотографирование в темноте используют для следующих целей:

фотографирование реакции зрителей в кино, театрах и т. д.;

фотографирование ночью уличных сцен, аварий и т. п.;

фото- или киносъемки поведения в темноте человека, животных, рыб и т. д.;

съемка процессов работы на фотографических фабриках и в лабораториях, в которых видимый свет может испортить продукцию.

Съемка в темноте была многократно использована для проведения ряда важных научных съемок.

В популярной литературе по вопросу об инфракрасном фотографировании и, в частности, фотографировании в темноте встречаются нередко утверждения, основанные на недоразумении, которое следует проанализировать, чтобы

фотограф-любитель не пошел в своей работе по неверному пути.

Так называемые «темновые излучатели», т. е. тела, нагретые до 425°C (ниже красного каления), испускают невидимые лучи, посредством которых эти тела (утюг, электроплитка) могут быть сфотографированы на инфрахроматических фотоматериалах.

Отсюда возникает мысль, что любые, даже слабо нагретые предметы можно снимать в свете их собственного теплового излучения.

Так, например, некоторые авторы утверждают возможность фотографирования лихорадочного больного в инфракрасных лучах, испускаемых его телом.

Другие авторы считают, что при съемке в темноте любого человека он передается на фотографии белым, вследствие того что у него тело теплое, а все теплое передается при съемке белым. Совершенно так же жилые дома передаются на фотографии светлыми, а нежилые — темными, так как первые дома отапливаются, а вторые — нет.

Чтобы понять неточность всех этих положений, вспомним физический закон, согласно которому максимум спектрального излучения у идеального излучателя (так называемого абсолютно черного тела) по мере снижения температуры этого излучателя смещается все далее в область длинных волн, т. е. от лучей видимых к лучам инфракрасным. Исходя из этого, становится очевидным, что все слабо нагретые тела испускают инфракрасные лучи. Тело человека, имеющее температуру от 36 до 41°C , различные предметы и тела, нагретые до

80°C , кипящая вода, нагретая до 100°C , — все они испускают инфракрасные лучи. Спрашивается, однако, в какой части инфракрасного спектра будут находиться эти излучения? Об этом с достаточным приближением мы можем

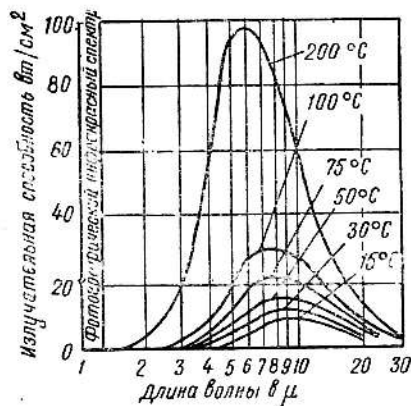


Рис. 18. Кривые распределения энергии излучения абсолютно черного тела при различных температурах ($^{\circ}\text{C}$)

судить по спектрам излучения абсолютно черного тела, к которым приближаются спектры излучения окружающих нас так называемых «серых» тел *. Эти кривые для различных температур представлены на рис. 18. Кривые по-

* В частности, между излучением человеческого тела и излучением абсолютно черного тела различия невелики. По данным Христиансена и Ларсена, радиация человеческого тела составляет от 0,83 до 1; Бюттнера—0,954; Зайдмана—от 0,08 до 1; Харди—0,089 части от излучения абсолютно черного тела.

казывают, что излучение тел, нагретых даже до 200°C , лежит за пределами фотографического инфракрасного и никакого воздействия на фотографические слои произвести не может*. И люди, и дома, и большинство окружающих нас вещей могут быть сфотографированы не в свете их собственного излучения, а лишь при освещении инфракрасными лучами, падающими от постороннего источника света (солнца, лампы накаливания и пр.). Отличие же в тоновой передаче их в инфракрасных лучах по сравнению с лучами видимыми (передача темной зелени — белой, воды — черной и т. д.) объясняется различием в отражательной способности инфракрасных лучей от этих тел по сравнению с лучами видимыми.

Тело необходимо нагреть до 250°C , чтобы его можно было фотографировать в полной темноте при свете его собственного излучения, но при подогреве выше 425°C тело начинает светиться уже видимыми красными лучами. Таким образом, фотографировать тела в свете их собственного излучения можно лишь при их нагреве примерно от 250 до 500°C .

* Если построить кривую спектрального распределения энергии излучений человеческого тела, то, по Харди, ее максимум находится при $9,5\ \mu$, причем между $3-6\ \mu$ находится 4% всего излучения; между $6-12-37\%$; между $12-24\ \mu-41\%$; между $24-50\ \mu-14\%$. Эти данные также показывают, что спектр излучения человеческого тела лежит вне пределов фотографического инфракрасного. (Сравнить эти величины со значениями, приведенными на рис. 18.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше было приведено лишь небольшое число примеров использования инфракрасного фотографирования. В то же время в любой области перед каждым пытливым исследователем или любителем может возникнуть вопрос: а что если инфракрасную фотографию применить и в нашей работе?

При помощи инфрасъемки обнаруживали стертые надписи на античном мраморе, насекомых внутри толщи янтарного камня, пятна крови на одежде убийцы и т. п. К ее помощи продолжали и продолжают прибегать в сотнях и тысячах случаев, когда кажется, что все способы выявления невидимого уже исчерпаны.

Хотелось бы надеяться, что эта брошюра сможет быть не только полезна как справочник, но и возбудит стремление к открытию новых возможностей и всестороннему применению инфракрасной фотографии в самых различных областях знания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Н. А., Фотография в невидимых лучах, Издательство Академии наук СССР, 1935.
2. Дидебулидзе А. И и Дидебулидзе Г. А., Фоторепродукция невидимого, Тбилиси, 1946.
3. Левитская М. А., Инфракрасные лучи, Издательство Академии наук СССР, 1935.
4. Марголин И. А., Румянцев Н. П., Основы инфракрасной техники, Военгиз, 1955.
5. Сольский Д. А., Аэрофотография в инфракрасных лучах, Техническая энциклопедия, т. 2, 1939.
6. «Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке». Сенситометрический справочник под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилева, ГИТТЛ, М., 1955.
7. Гороховский Ю. Н. и Валяшко Е., Определение спектральной светочувствительности фотографических слоев в абсолютных энергетических единицах, Журнал технической физики, т. 3, 1936.
8. «Новейшие успехи в области инфракрасной фотографии» (реферат), «Советская кинофотопромышленность», 1936, № 2.
9. Соловьев С. М., Физико-химические и фотографические свойства красителей с различной длиной полиметиновой цепи. Журнал физической химии, т. 19, 1945.

10. Михайлов В. Я., Руководство по фотолабораторным работам, Геодезиздат, 1954.

11. Тихов Г. А., Астробиология, «Молодая гвардия», 1953.

12. Теренин А. Н., О фотографическом методе в инфракрасном, «Zeitschrift für Physik», т. 23, 1924.

13. «Каталог цветного стекла», Оборонгиз, М., 1951.

14. Эггерт Д., Состояние инфракрасной фотографии. Сборник «Сенсибилизация фотографических материалов», Л., 1936.

15. Киричинский Б., Федорова Н., Фотографирование в инфракрасных лучах, «Советское фото», 1938, № 13.

16. Петрикалис А., Бунгс И., Сенситометрия и определение экспозиции в инфракрасном, Труды Латвийского университета, т. IV, 1939.

17. Clark W., «Photography by infrared», New - York, London, 1 Ed., 1939, 2 Ed., 1946.

18. Helwich O., «Die Infrarot-Fotografie», 2 Aufl., 1937.

19. Rawling S. O., «Infra-Red Photography», London, 1934.

20. Dérivé M., «La photographie dans l'infrarouge», Paris, 1945.

21. Dérivé M., «Les applications pratiques de rayons infrarouge», 2 Ed., Paris, 1941.

22. Isert C., «Infrarot-Photographie», Photokino—Verlag, 1934.

23. Nürnberg A., «Agfa—Photomaterialien für Wissenschaft und Technik», Leipzig, 1954.

24. Wenzel F., «Agfa—Lichtfilter», 1954.

25. Danckwortt P. W., Infrarotphotographie von schwarzen Farbstoffen», Zeitschrift angewandter Photographie I, 1939.

26. Meidinger W., «Infrarot—Photographie», Fortschritte der Photographie VI/2 1940.

27. Lecompt J., «Le rayonnement infrarouge» Applications biologique, physiques et techniques 1, Paris, 1948.

ПРИЛОЖЕНИЯ

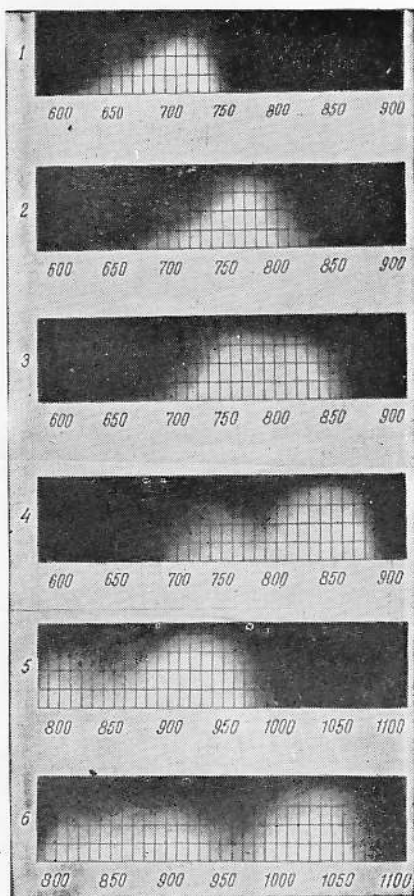


Фото 1. Спектрограммы инфракрасных пластинок Агфа:

- 1.—Инфра 700; 2.—Инфра 750; 3.—Инфра 800; 4.—Инфра 850; 5.—Инфра 950; 6 — Инфра 1050 (23).

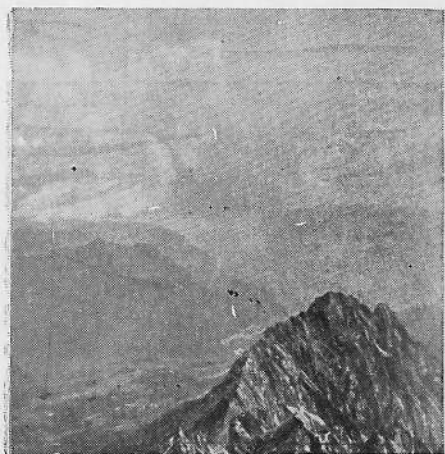


Фото 4. Горный пейзаж. Съемка на панхроматической пленке (18)



Фото 5. Горный пейзаж (тот же, что и на фото 4). Съемка на инфрахроматической пленке (18)



Фото 2. Тянь-шаньские ели. Фотография, сделанная в видимых лучах (11)



Фото 3. Тянь-шаньские ели. Фотография, сделанная в инфракрасных лучах (11)



Фото 6. Замок Лихтенштейн.
Съемка на ортохроматической
пластинке (18)



Фото 7. «Ночной», или «лунный»,
эффект (тот же объект, что на фо-
то 6). Съемка на инфракрасной пла-
стинке Ильфорд с инфракрасным
светофильтром (18)

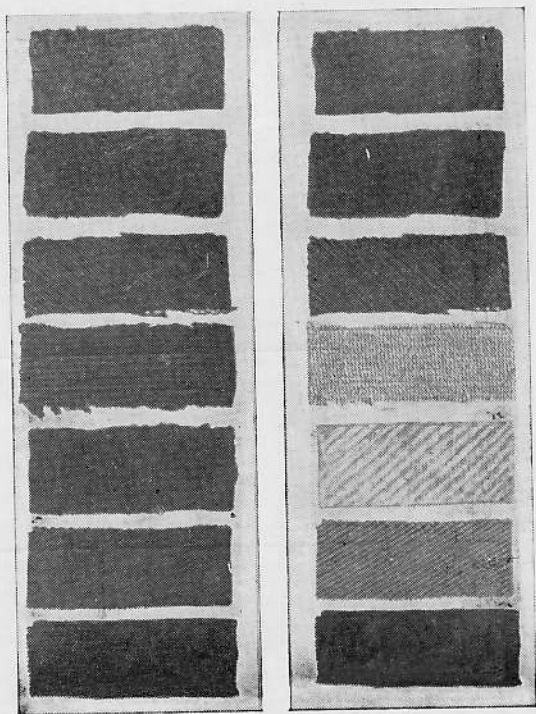


Фото 8. Фотографии образцов тканей, ок-
рашенных в черный цвет различными кра-
сителями (18):

слева — съемка на ортохроматической пленке;
справа — съемка на инфрахроматической пленке



Фото 11. Надпись на коже. Съемка на панхроматической пленке под красным фильтром (18)



Фото 12. Надпись на коже (та же, что и на фото 11). Съемка на инфрахроматической пленке (18)



Фото 9. Документ, залитый чернилами. Снимок в видимых лучах (15)

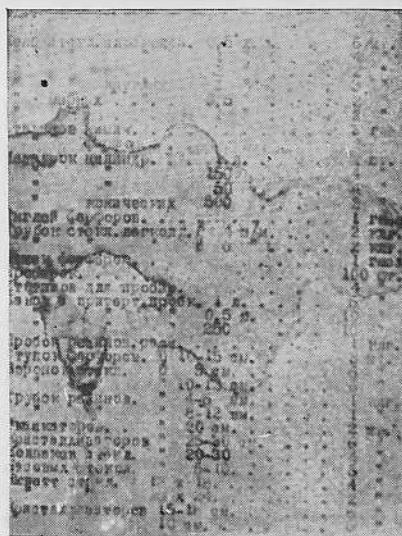


Фото 10. Тот же документ, сфотографированный в инфракрасных лучах (15)

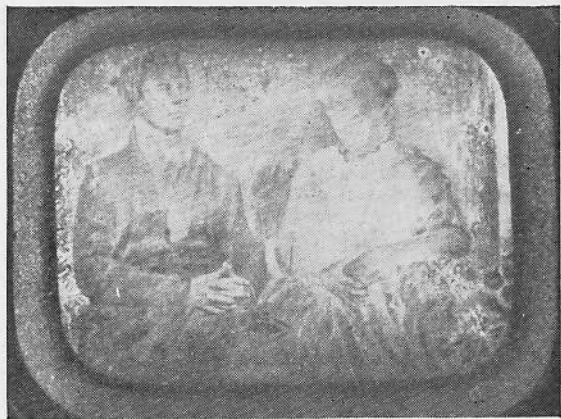


Фото 13. Дагеротип, снятый в видимых лучах (18)



Фото 14. Дагеротип (тот же, что и на фото 13), снятый в инфракрасных лучах (18)



Фото 15. Экзема и вены голени. Съемка сделана на ортохроматической пластинке (18)



Фото 16. Снимок объекта, изображенного на фото 15, сделанный на инфрахроматической пластинке (18)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
ИНФРАКРАСНЫЕ ЛУЧИ	5
СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИЕ МА- ТЕРИАЛЫ	12
Сенсибилизация к инфракрасным лучам	12
Стабильность	26
Гиперсенсибилизация	29
СВЕТОФИЛЬТРЫ	34
Светофильтры для лабораторных работ	34
Светофильтры для съемки	39
СЪЕМКА НА ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ И ИХ ОБРАБОТКА	44
Фотографические аппараты	44
Наводка на фокус	46
Экспонирование	53
Проявление и фиксирование	60
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ НА ПАН- И ИНФРАХРОМАТИ- ЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ	65
ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТО- ДОМ РАЗРУШЕНИЯ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ	67
ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФРАСЪЕМКИ	68
Передача зелени	68
Съемка дали	70
«Ночной», или «лунный», эффект	71

Фотографирование окрашенных объектов	73
Репродуцирование в инфракрасных лучах	75
Инфракрасная фотография в медицине	76
Съемка в темноте	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
Литература	84
Приложения	87